

## Großverbraucher von elektrischer Energie in der chemischen Industrie

Von Hermann Gatz, Marl\*)

DK 620.9 : 621.3 : 66

### Der Verbrauch von elektrischer Energie in der Industrie der Bundesrepublik Deutschland

Im Jahre 1959 betrug der Verbrauch von elektrischer Energie in der chemischen Industrie Westdeutschlands 18,016 Mrd. kWh. Bezogen auf den Gesamtverbrauch der westdeutschen Industrie (Betriebe mit 10 und mehr Beschäftigten) sind das 26,7 %. Die Chemie liegt damit im Stromverbrauch bei weitem an erster Stelle vor dem Kohlebergbau mit 13,6 % und der eisenschaffenden Industrie mit 12 %.

Nimmt man noch die in weiterem Sinne auch zur Chemie gehörende Gruppe der Aluminiumerzeuger mit einem Energieverbrauch von 3,360 Mrd. kWh und die der Chemie verwandte Gruppe der Mineralölverarbeitung und Kohlewertstoff-Industrie mit einem Energieverbrauch von 2,512 Mrd. kWh hinzu, so ergibt sich für diese drei Gruppen im Jahre 1959 ein Verbrauch an elektrischer Energie von 23,888 Mrd. kWh oder 35,5 % des Gesamtverbrauchs der westdeutschen Industrie.

Bei diesem außerordentlich hohen Energieverbrauch liegt die Frage nahe, wofür diese Energie benötigt wird und welche auf den Markt gelangenden Erzeugnisse damit mittelbar oder unmittelbar hergestellt werden.

### Die wichtigsten Energieverbraucher der chemischen Industrie

Aus der Vielzahl der Verbraucher von elektrischer Energie — unter „Verbraucher“ sollen hier apparative Einrichtungen verstanden werden — ragen vier Gruppen wegen der Größe ihrer Leistungen und ihres Energieverbrauchs heraus. Diese „Großverbraucher“ sind:

Wäßrige Elektrolysen,  
Schmelzfluß-Elektrolysen,  
Elektroöfen mit Einzelleistungen über 1 MW,  
Elektromotorische Antriebe mit Einzelleistungen über 1 MW.

Die Unternehmen, die derartige Großverbraucher betreiben, hatten im Jahre 1959 einen Gesamtverbrauch an elektrischer Energie von 19 499 Mrd. kWh oder 81,5 % des Energieverbrauchs in Chemie, aluminiumerzeugender Industrie und Mineralölindustrie. In Tafel 1 ist der Anteil der einzelnen „Großverbrauchergruppen“ angegeben. Die „sonstigen Verbraucher“ sind im wesentlichen — wie auch die Verbraucher in den nicht erfaßten Unternehmen — Elektroöfen und elektromotorische Antriebe kleinerer Leistung sowie Beleuchtung.

In den folgenden Abschnitten soll auf die Großverbrauchergruppen nun näher eingegangen werden.

### Wäßrige Elektrolysen

Wäßrige Elektrolysen dienen vornehmlich zum Erzeugen von Chlor. Ausgangsrohstoff ist Steinsalz (Natriumchlorid, NaCl). Schickt man durch eine wäßrige Steinsalzlösung, den Elektrolyten, Gleichstrom hindurch, so wandert das Natrium zur Kathode, das Chlor zur Anode. Gemäß den Faradayschen Gesetzen werden je Amperestunde 1,32 g Chlor und 0,86 g Natrium abgeschieden. Das Natrium bildet zusammen mit dem Wasser des Elektrolyten Natronlauge (NaOH) und Wasserstoff. Chlor und Wasserstoff können gasförmig abgesaugt werden, die flüssige Natronlauge wird abgezogen.

Wegen der bei diesem Verfahren unvermeidlichen Verunreinigung der Natronlauge durch die Salzlösung werden die heute in Deutschland gebräuchlichen Elektrolysen vornehmlich nach einem etwas abgewandelten, dem sogenannten Amalgamverfahren, betrieben. Die Kathode besteht hierbei aus Quecksilber, das mit dem abgeschiedenen Natrium sofort ein flüssiges Amalgam bildet. Das Amalgam wird laufend in besondere Zersetzungsgefäße abgezogen, wo das Natrium in Gegenwart von Graphit als Katalysator zusammen mit Wasser eine sehr reine, hochprozentige Natronlauge und Wasserstoff bildet. Das Quecksilber wird im Kreislauf wieder in die Elektrolysezelle zurückgepumpt.

Die für den Elektrolyseprozeß erforderliche Spannung einer Quecksilberzelle beträgt etwa 4,05 V. Sie setzt sich zusammen aus der Zersetzungsspannung von rd. 3,4 V, die sich aus der elektrochemischen Spannungsreihe bzw. aus der Wärmetönung ergibt, und aus dem Spannungsabfall im Elektrolyten, an den Elektroden und in den Zuleitungen. Der theoretische Energieverbrauch errechnet sich damit zu 3,07 kWh je kg Chlor. Infolge von Nebenreaktionen beträgt der tatsächliche Energieverbrauch rd. 3,40 kWh/kg Chlor.

Es ergibt sich etwa folgende Gesamtbilanz:

Zum Erzeugen von	100 kg Chlor
werden verbraucht rd.	175 kg Steinsalz,
	60 kg Wasser,
	3 kg Elektrodenkohle,
	340 kWh.

Tafel 1. Stromverbrauch in der chemischen Industrie der Bundesrepublik im Jahre 1959.

Stromverbraucher	Energieverbrauch TWh	Anteil am Energieverbrauch %
wäßrige Elektrolysen	2,420	12,4
Schmelzflußeлектроlysen	3,100	15,9
Elektroöfen mit Einzelleistungen über 1 MW	5,104	26,2
elektromotorische Antriebe mit Einzelleistungen über 1 MW	2,664	13,7
sonstige Verbraucher	6,211	31,8
<b>Gesamtverbrauch der Unternehmen mit Großverbrauchern</b>	<b>19,499</b>	<b>100,0</b>

\*) Dr.-Ing. H. Gatz ist Betriebsingenieur bei der Chemische Werke Hüls AG in Marl, Kr. Recklinghausen.



Als Nebenprodukt erhält man:

114 kg Natronlauge,  
30 Nm<sup>3</sup> Wasserstoff.

Die Elektrolysezellen oder sogenannten Bäder bestehen aus flachen bis zu 20 m langen und etwa 1,5 m breiten, geschlossenen, eisernen Trögen, deren Seitenwände zum Schutz gegen das aggressive Chlor gummiert sind. Der mit Quecksilber bedeckte Boden bildet die Kathode, darüber hängen im Abstand von rd. 5 mm als Anode Graphitelektroden; dazwischen befindet sich der Elektrolyt. Mehrere solcher Zellen werden elektrisch in Reihe geschaltet. Die Stromstärke beträgt, je nach der Größe der Zellen, 30 000 bis 150 000 A und die Anodenstromdichte 0,5 bis 0,7 A/cm<sup>2</sup>. Die Spannung der gesamten Anlage ist, je nach Zellenzahl, 150 bis 1000 V.

Der Gleichstrom wird in Quecksilberdampf-Gleichrichtern, Kontakt-Umformern und bei neuen Anlagen vorwiegend in Silizium-Gleichrichtern aus Wechselstrom umgeformt. Motor-Generatoren, Einanker-Umformer sowie die Primärerzeugung in Gleichstrom-Generatoren spielen bei der Energieversorgung keine Rolle mehr. Quecksilberdampf-Gleichrichter werden mit bis zu 8000 A, Kontaktumformer mit bis zu 25 000 A und Silizium-Gleichrichter mit bis zu 40 000 A je Einheit betrieben. Bild 1 und 2 zeigen eine moderne Elektrolysehalle und die dazugehörige Silizium-Gleichrichterhalle einer Anlage für 100 000 A, 280 V.

Chlor wird in großen Mengen zum Herstellen von Kunststoffen — man denke an Polyvinylchlorid (PVC) — sowie von Lösungsmitteln wie Tetrachlorkohlenstoff, Trichloräthylen, Chloroform usw. und zum Herstellen von Salzsäure benötigt. Ferner wird es für Waschmittel-Rohstoffe, in der Zellstoff- und Papierindustrie und für anorganische Grundchemikalien verwendet.

Natronlauge wird benötigt in der Kunstseide- und Textilindustrie, in der Seifen- und Papierindustrie, im Bergbau und in der Aluminiumindustrie, ferner für die verschiedensten Prozesse in der chemischen Industrie.

Wasserstoff braucht man vornehmlich in der Waschmittelindustrie zur Fetthärtung, in der Mineralölindustrie zum Herstellen verschiedener Erdölzeugnisse, sowie bei der Ammoniaksynthese.

Außer aus Steinsalz kann Chlor auch aus Kaliumchlorid (KCl) auf die gleiche Weise elektrolytisch gewonnen werden. Wegen des erheblich höheren Preises der Kalisalze tritt die Bedeutung der Kali-Elektrolyse gegenüber der Natrium-Elektrolyse weit zurück. Bei Kali-Elektrolysen geht es auch nicht um das Chlor, sondern um die Kalilauge (KOH), die als eine der stärksten Laugen für verschiedene Zwecke, vor allem zum Verseifen von Fetten, benötigt wird.

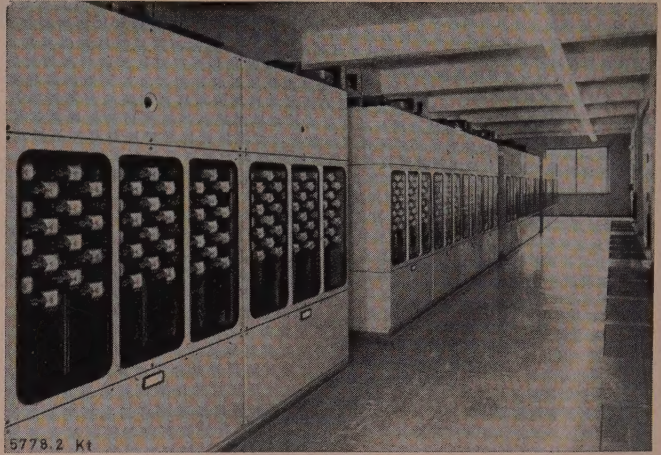


Bild 2. Gleichrichterhalle mit Silizium-Gleichrichtern zum Versorgen einer Chlorelektrolyse. 4 Einheiten zu 25 000 A, 280 V, Gesamtleistung 28 MW.

(Werkbild Farbenfabriken Bayer AG)

Schließlich gehört zu den wässrigen Elektrolysen noch die Zerlegung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff, wobei der Wasserstoff meist das begehrtere Produkt ist, sowie die elektrolytische Raffination von Blei, Gold, Cadmium, Kupfer, Nickel, Silber, Zink und Zinn aus den Salzen dieser Metalle. Im Hinblick auf ihren Energieverbrauch sind diese Verfahren in der Bundesrepublik jedoch ohne große Bedeutung.

#### Schmelzfluß-Elektrolysen

In Schmelzfluß-Elektrolysen werden verschiedene Nicht-eisenmetalle gewonnen oder in Raffinationszellen aus dem Hüttenmetall in höchster Reinheit hergestellt. An erster Stelle steht hierbei die Aluminiumgewinnung.

Als Rohstoff dient der auf dem Balkan, in Frankreich und in Mittel- und Südamerika in großen Mengen vorkommende Bauxit, ein im wesentlichen durch Eisenoxyd verunreinigtes Aluminiumoxyd (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Aus dem Bauxit wird zunächst das reine Aluminiumoxyd gewonnen, indem der getrocknete und gemahlene Bauxit mit konzentrierter, wässriger Natronlauge unter erhöhtem Druck und bei einer Temperatur von etwa 180 °C aufgeschlossen wird. Dabei löst sich das Aluminiumoxyd in der Lauge, während die übrigen Bestandteile ungelöst als sogenannter Rotschlamm zurückbleiben. Aus der so gewonnenen Aluminatlauge scheidet sich in einem weiteren Verfahren Aluminiumhydroxyd ab. Bei Temperaturen über 1200 °C wird es in großen öl- oder gasbeheizten Drehöfen kalziniert. Das Aluminiumoxyd bleibt als feinkörniges, weißes Pulver übrig.

Die Elektrolysezellen — in der Aluminiumindustrie Öfen genannt — sind hier flache, oben offene Tröge aus Eisen, deren Böden und Innenwände mit Schamottesteinen ausgekleidet sind. Darüber befindet sich als Kathode ein aus Stampfmasse oder Blöcken bestehendes Kohlefutter, in das eiserne Schienen für die Stromzuführung eingebettet sind. Die Anoden aus Kohlenstoffmasse, oft als kontinuierliche, selbstbackende, nach ihrem Erfinder Söderberg benannte Elektroden ausgebildet, ragen von oben in die Wanne hinein. Der Abstand zur Kathode beträgt einige Zentimeter. In der Wanne befindet sich als Elektrolyt eine oberhalb 850 °C flüssige Schmelze aus Kryolith (Natrium-Aluminium-Fluorid, Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>). An der Oberfläche ist die Schmelze erstarrt. Die Kruste bildet den Wannenabschluß nach oben.

In die Kryolithschmelze wird periodisch Aluminiumoxyd zugegeben, das sich in der Schmelze löst. Der Aluminiumoxyd-Anteil beträgt 5 bis 8 %. Dieses Gemisch wird bei etwa 970 °C der Elektrolyse unterworfen. Die elektrochemi-



Bild 1. Elektrolysehalle einer Chlorfabrik, 28 Zellen, 100 000 A.

(Werkbild Farbenfabriken Bayer AG)



schen Vorgänge sind dabei recht kompliziert und möglicherweise auch noch nicht völlig geklärt. Im Endergebnis scheidet sich an der Kathode das metallische Aluminium ab, an der Anode der Sauerstoff, der mit dem Kohlenstoff der Elektrodenmasse zu Kohlenoxyd oder Kohlendioxyd verbrennt.

Zum Abscheiden von 1 kg Aluminium sind 3000 Ah notwendig. Die theoretische Zersetzungsspannung beträgt 1,68 V. Außer dem sich daraus ergebenden elektrochemischen Energieanteil von rd. 5 kWh müssen aber noch die Schmelzwärme des Aluminiumoxyds und die Wärmeverluste des Ofens gedeckt werden. Das drückt sich in einer erhöhten Badspannung von etwa 5 V aus. Unter Berücksichtigung von Nebenreaktionen ergibt sich ein tatsächlicher Energieverbrauch je kg Aluminium von 16 bis 18 kWh.

Zum Erzeugen von

100 kg Aluminium

sind erforderlich etwa

190 kg Aluminiumoxyd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),

45–55 kg Elektrodenmasse (rd. 40 kg Kohlenstoff),

5 kg Kryolith ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ).

Als Nebenprodukt fallen an

130 kg Kohlenoxyd und Kohlendioxyd.

Der Kohlenoxydanteil des Gases verbrennt bei Austritt aus dem Ofen mit dem Luftsauerstoff zu Kohlendioxyd. Das flüssige Aluminium wird diskontinuierlich abgezogen.

Den Gleichstrom liefern, wie bei den wäßrigen Elektrolysen, Quecksilberdampf-Gleichrichter, Kontakt-Umformer und Silizium-Gleichrichter, teilweise auch durch Wasserkraft getriebene Gleichstrom-Generatoren. Die Stromstärke beträgt zwischen 30 000 und 150 000 A, die Anodenstromdichte 0,6 bis 1,5 A/cm<sup>2</sup>, die Spannung liegt meist zwischen 500 und 800 V. Auf eine gesicherte Energieversorgung muß ganz besonderer Wert gelegt werden, da bei längerem Stromausfall die Bäder einfrieren und erst nach mühsamem und kostspieligem Aufbrechen der Kryolithschmelze wieder angefahren werden können. Bild 3 zeigt ein Ofenhaus mit 70 000-A-Öfen, Bild 4 die dazugehörige Kontakt-Umformeranlage.

Der Verbrauch an Aluminium in der Bundesrepublik betrug 1959 rd. 320 000 t. Davon gingen etwa 23 % in das Verkehrs- und Transportwesen, 14 % in die Elektrotechnik, je 13 % in die Metallwarenindustrie und den Ma-



Bild 4. Kontakt-Umformeranlage zum Versorgen einer Aluminium-Elektrolyse, bestehend aus 19 Einheiten zu 10 000 A, 450 V, Gesamtleistung 85 MW. (Werkbild Vereinigte Aluminiumwerke AG)

schinenbau, 8 % in die Verpackungsindustrie und 7 % in die Bauwirtschaft. Der Rest wird für verschiedene Zwecke verwendet.

Der Energieverbrauch für die Gewinnung der Alkali- und Erdalkalimetalle wie Natrium, Kalium, Kalzium usw. in Schmelzfluß-Elektrolysen sowie für die Raffination von Reinstaluminium spielt gegenüber der Aluminium-Elektrolyse keine nennenswerte Rolle. Die elektrolytische Gewinnung von Magnesium, die von den mitteldeutschen IG-Werken in größerem Maßstab betrieben wurde, ist in Westdeutschland nicht wieder aufgenommen worden.

#### Elektroöfen

Den größten Energieverbrauch hat die Gruppe der Elektroöfen. Sie dienen zum Gewinnen von Karbid, Phosphor, Ferrosilizium und Acetylen.

An erster Stelle steht dabei die Erzeugung von Kalzium-Karbid. In großen Öfen wird ein Gemisch von gebranntem Kalk ( $\text{CaO}$ ), Koks und Anthrazit durch elektrischen Strom erhitzt und geschmolzen. Bei Temperaturen um 2000 °C wird der Kalk reduziert, wobei sich Kalzium-Karbid ( $\text{CaC}_2$ ) und Kohlenoxyd bilden. An Reaktionswärme werden je Kilogramm Reinkarbid 2,01 kWh benötigt. Einschließlich der Energie für die Erwärmung auf Reaktionstemperatur, der Schmelzwärme und der Wärmeverluste des Ofens beträgt der Energieverbrauch in modernen Großöfen rd. 3,8 kWh für je 1 kg Reinkarbid oder etwa 3,1 kWh je Kilogramm Handelskarbid (mit einem Kalkanteil von rd. 20 %).

Bei der industriellen Gewinnung werden rund

93 kg  $\text{CaO}$  mit 55 kg C und 306 kWh

umgesetzt zu

100 kg  $\text{CaC}_2$  (Handelskarbid) und 43 kg CO.

Die Öfen haben einen runden, ovalen oder rechteckigen Grundriß. Große Öfen haben einen Durchmesser von rd. 10 m und eine Höhe von etwa 6 m. Der Ofenboden und die äußere Ofenwand bestehen aus Eisenblech, das durch aufgeschweißte Rippen verstärkt ist. Der Boden hat ein Kohlefutter, die Seitenwände und, bei geschlossenen Öfen, der Deckel sind mit feuerfesten Steinen ausgekleidet. Die Öfen stehen frei und sind von allen Seiten zugänglich. Von oben ragen die Kohle-Elektroden in den Ofen. Sie haben einen Durchmesser bis zu 1,50 m und werden vorwiegend als Söderberg-Elektroden ausgeführt. Die Öfen werden meist mit Drehstrom, selten mit Wechselstrom, betrieben,

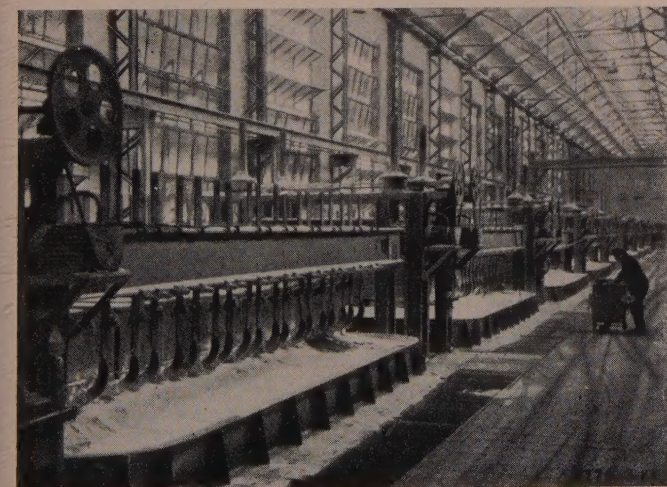


Bild 3. Aluminiumöfen mit vorgebrannten Anoden für 70 000 A. (Werkbild Vereinigte Aluminiumwerke AG)



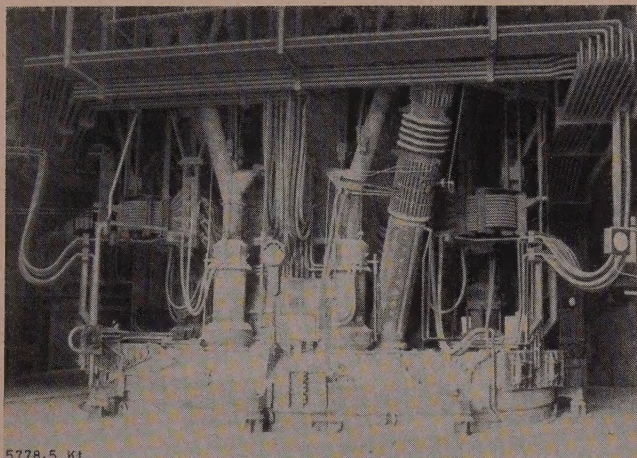


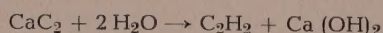
Bild 5. Kalzium-Karbidofen, 195 000 A, 80 bis 240 V, Ofenleistung 35 MW.  
(Werkbild Süddeutsche Kalkstickstoffwerke AG)

so daß im allgemeinen drei Elektroden — bei runden Öfen im gleichseitigen Dreieck — vorhanden sind. Sie können hydraulisch gehoben und gesenkt werden, sowohl um den Abbrand auszugleichen, als auch zum Regeln der Stromstärke. Jede Elektrode wird einzeln mit dem Kalk-Kohle-Gemisch beschickt. Um die Elektrode bildet sich dabei ein Kegel aus dem Beschickungsgut, das im unteren Teil in die flüssige Schmelze übergeht. Der Strom fließt von den Elektroden über das Gemisch und die Schmelze zum Kohlefutter des Ofenbodens. Karbidöfen sind also Widerstandsöfen, die bei Drehstrom-Anschluß mit offenem Sternpunkt arbeiten. Zwar bilden sich in dem nicht geschmolzenen Teil der Beschickung auch kleine Lichtbögen, ihr Energieanteil ist jedoch gering.

Das Karbid wird in der Nähe der Elektroden am Ofenboden flüssig abgestochen. Nach dem Erkalten in gußeisernen Behältern wird es gebrochen und der weiteren Verwendung zugeführt. Das Kohlenoxyd wird bei modernen geschlossenen Öfen unter dem Deckel abgesaugt und nach Abscheidung des Kalkstaubes abgefackelt oder weiter verwendet, beispielsweise unter Dampfkesseln verbrannt. Ältere Öfen sind als offene oder gedeckte Öfen ausgeführt, bei denen das Gas einschließlich des mitgerissenen Kalkstaubes unmittelbar ins Freie entweicht. Daraus erklärt sich die große Staubbelastung in der Nähe älterer Karbidfabriken. Bild 5 zeigt einen Karbid-Ofen.

Die größten bisher gebauten Öfen haben eine Leistung von 42 MW. Bei einer Spannung von 250 V und einem Leistungsfaktor von 0,80 bis 0,85 beträgt die Stromstärke rd. 120 000 A. Auf eine induktionsarme Verlegung der Zuleitungen ist deshalb besonderer Wert zu legen. Wegen der günstigeren Leitungsführung werden oft an Stelle eines Drehstrom-Transformators drei Einphasen-Transformatoren an drei Seiten des Ofens aufgestellt.

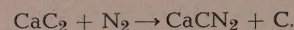
Das Kalzium-Karbid wird vornehmlich zur Herstellung von Azetylen ( $C_2H_2$ ) sowie von Kalkstickstoff ( $CaCN_2$ ) verwendet. Nach der Formel



erhält man aus 1 kg Handelskarbid etwa 0,33 kg Azetylen und gelöschten Kalk.

Azetylen ist als sehr reaktionsfreudiger, ungesättigter Kohlenwasserstoff genau wie Äthylen Ausgangsstoff für viele Erzeugnisse der Kunststoffchemie, wie z. B. für das im Zusammenhang mit der Chlor-Elektrolyse bereits angeführte Polyvinylchlorid, ferner für Chlorkohlenwasserstoffe, Azetaldehyd, Essigsäure, Äthylalkohol und viele andere Stoffe der organischen Chemie. In erheblichen Mengen wird es auch als Schweißazetylen verbraucht.

Aus Kalzium-Karbid und Stickstoff erhält man bei Temperaturen zwischen 700 und 1000 °C Kalkstickstoff, der als Düngemittel verwendet wird. Die Reaktion erfolgt nach der Formel



Da sie exotherm, d. h. unter Wärmeabgabe verläuft, ist eine Energiezufuhr nur zur Initialzündung erforderlich. Der Stickstoff wird durch Luftzerlegung nach dem sogenannten Lindeverfahren gewonnen.

Schließlich wird Kalzium-Karbid noch in der Eisen- und Stahlindustrie verwendet, z. B. zum Entkohlen und Entschwefeln von Roheisen, zum Herstellen von Molybdän und zum Aufkohlen von Eisen- und Stahlerzeugnissen.

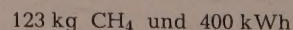
Den gleichen Aufbau wie die Karbidöfen haben die Öfen zum Gewinnen von Phosphor. Kalziumphosphat [ $Ca_3(PO_4)_2$ ], ein auch in Deutschland vorkommendes Salz, wird zusammen mit Koks und Quarzsand ( $SiO_2$ ) unter Energiezufuhr zu Kalzium-Silikat ( $CaSiO_3$ ), Kohlenoxyd und Phosphor umgesetzt. Analog zum Kalzium-Karbid wird bei diesem Prozeß das nahezu wertlose Kalziumsilikat flüssig abgezogen, während der Phosphor zusammen mit dem Kohlenoxyd gasförmig anfällt. Im Gegensatz zur Karbidgewinnung sind deshalb nur geschlossene Öfen verwendbar. Da Phosphor einen Siedepunkt von 282 °C hat, kann er nach Reinigung der Gase von Staubteilchen leicht kondensiert und damit vom Kohlenoxyd getrennt werden. Sein Schmelzpunkt liegt bei 44 °C.

Der so gewonnene gelbe Phosphor wird zum Herstellen von Phosphorlegierungen, z. B. Phosphorbronze, sowie für Weichmacher in der Kunststoffindustrie benötigt. Der aus dem gelben Phosphor durch Erhitzen gewonnene rote Phosphor wird u. a. in der Zündholzindustrie für die Reibflächen von Streichholzschachteln verwendet. Ferner wird aus gelbem Phosphor Phosphorsäure hergestellt, die z. B. in der metallverarbeitenden Industrie als Reinigungsmittel dient sowie zum Herstellen von Rostschutzmitteln verwendet wird. Außerdem wird sie in großen Mengen zu Phosphaten — vor allem für die Waschmittelindustrie — weiterverarbeitet.

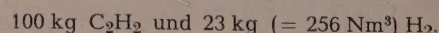
Zur Gruppe der elektrischen Reduktionsöfen gehören in diesem Zusammenhang schließlich noch die Silizium- und Ferrosiliziumöfen. In ihnen wird Quarz mit Koks oder mit Koks und Eisen bei Temperaturen zwischen 2000 und 2500 °C zu Silizium-Metall oder Ferrosilizium reduziert. Beide Stoffe dienen vorwiegend als Legierungselemente für Stahl und Nichteisenmetalle (z. B. Silumin).

Die thermische Gewinnung von Magnesium ist z. Z. in der Bundesrepublik von untergeordneter Bedeutung.

Grundsätzlich anders in Aufbau und Wirkungsweise sind die Lichtbogenöfen zur Azetylen-gewinnung aus gasförmigen Kohlenwasserstoffen. Erhitzt man z. B. Methan ( $CH_4$ ) auf 1400 bis 1500 °C und schreckt das Gasgemisch dann wieder ab, so erhält man Azetylen ( $C_2H_2$ ) und Wasserstoff. Als Reaktionsenergie müssen je Kilogramm Azetylen 4 kWh aufgewendet werden. Die theoretische Bilanz lautet demnach



werden umgesetzt zu



Da einerseits das Gas unter Energiezufuhr auf Reaktionstemperatur erhitzt werden muß, andererseits aber neben Methan auch noch höhere Kohlenwasserstoffe verwendet werden, deren Reaktionsenergie geringer ist, ergibt sich unter Berücksichtigung von Nebenreaktionen ein Energieverbrauch von etwa 9,5 kWh/kg Azetylen. Außerdem gewinnt man, je nach Rohstoff und Fahrweise des Ofens, auf



100 kg Azetylen noch bis zu 50 kg des ebenfalls sehr begehrten Äthylens ( $C_2H_4$ ).

Die Lichtbogenöfen werden mit Gleichstrom von 1150 A und einer Spannung von 7200 V betrieben. Der Lichtbogen von rd. 1 m Länge und einem Säulendurchmesser von etwa 1 cm brennt zwischen zwei im Abstand von rd. 20 cm senkrecht übereinander angeordneten, wassergekühlten Hohlelektroden aus Eisen, von denen die untere rd. 1,50 m lang und nach unten offen ist. Der Durchmesser dieser Rohrelektrode beträgt etwa 10 cm. Die obere Elektrode ist wesentlich kürzer und oben geschlossen. Zwischen den Elektroden befindet sich die sogenannte Wirbelkammer, in die das Gas eingeblasen wird. Es strömt mit einer Geschwindigkeit von rd. 1000 m/s und einem geringen Drall parallel zum Lichtbogen durch die Rohrelektrode, wobei es auf Reaktionstemperatur gebracht und gespalten wird. Gleichzeitig zieht das Gas die Lichtbogenfußpunkte in die Elektroden hinein, so daß der Lichtbogen auf die oben angegebene Länge gedehnt wird.

Nach dem Austritt aus dem Ofen wird das Gas mit Wasser abgeschreckt. Außer den Spaltprodukten Azetylen, Äthylen und Wasserstoff enthält es aus Nebenreaktionen noch Ruß und nicht umgesetzte Kohlenwasserstoffe. Nach Reinigung des Gases vom Ruß wird das wasserlösliche Azetylen unter Druck herausgewaschen. Das verbleibende Restgas wird in einer Lindeanlage durch Tiefkühlung weiter zerlegt.

Über die weitere Verwendung des Azetylens und des Wasserstoffs ist bereits an anderer Stelle des Aufsatzes berichtet worden. Der Ruß dient als Gummifüllstoff und als Pigment in der Farbenindustrie. Überschüssiger oder nicht verwertbarer Ruß wird unter Dampfkesseln verbrannt.

Den Gleichstrom liefern Quecksilberdampf-Gleichrichter. Jeder Ofen hat seine eigene Gleichstromversorgung. Das ist, abgesehen von den Problemen eines Gleichstromschalters für derartige Spannungen, aus Gründen der Regelung unumgänglich. Um nämlich trotz der negativen Strom-Spannungs-Charakteristik eines Lichtbogens ohne stabilisierende Hilfsmittel wie Drosselspulen auf der Wechselstromseite oder Widerstände auf der Gleichstromseite auszukommen, muß jedem Ofen — die Zeitkonstante des Regelkreises beträgt nur wenige Millisekunden — eine fast träge Last

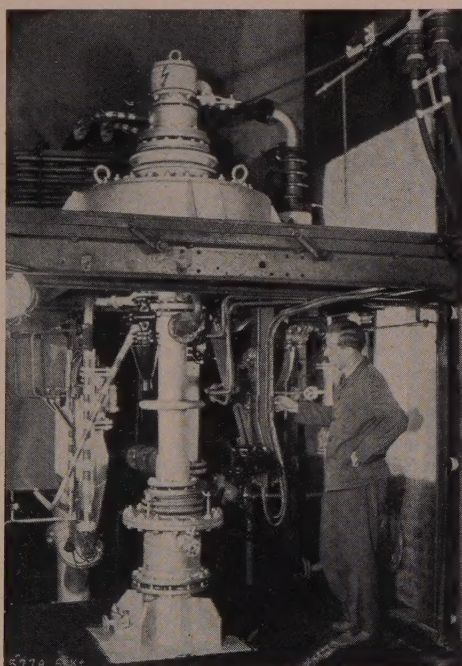


Bild 6. Lichtbogenofen 1150 A, 7200 V zum Spalten von Kohlenwasserstoffen.

(Werkbild Chemische Werke Hüls AG)



Bild 7. Quecksilberdampf-Gleichrichteranlage zum Versorgen von Lichtbogenöfen, bestehend aus 17 Einheiten zu 1150 A, 7200 V, Gesamtleistung 140 MW.

(Werkbild Chemische Werke Hüls AG)

regelbare Gleichspannung zugeführt werden. Bild 6 zeigt einen Lichtbogenofen, Bild 7 die Gleichrichteranlage zum Versorgen von 17 Öfen.

### Großmotorische Antriebe

Während die bisher beschriebenen Verbrauchergruppen durch einen oder einige wenige Großverbraucher gekennzeichnet waren, werden großmotorische Antriebe naturgemäß zu sehr vielen und sehr unterschiedlichen Zwecken benötigt. Aus der Vielzahl der Verfahren, in denen Elektromotoren zum Antrieb von Pumpen, Verdichtern, Walzen, Gebläsen, Mühlen usw. verwendet werden, sollen zwei näher beschrieben werden, nämlich die Ammoniak-Synthese nach *Haber-Bosch* und die Gaszerlegung nach *Linde*.

Bei der Ammoniak-Synthese wird bei Drucken zwischen 100 und 1000 at und Temperaturen um 500 °C Wasserstoff und Stickstoff in Gegenwart von Katalysatoren zu Ammoniak ( $NH_3$ ) vereinigt. Ausgangsmaterial ist in Deutschland vornehmlich Wassergas (rd. 50 Vol-%  $H_2$ , 40 % CO und 5 %  $N_2$ ), das durch Vergasung von Steinkohle oder Braunkohle mit Sauerstoff oder Wasserdampf gewonnen wird, und Generatorgas (rd. 60 %  $N_2$ , 30 % CO und 4 %  $H_2$ ), das man durch Vergasung des gleichen Rohstoffs mit Luft erzeugt. Außerdem enthalten die Gase noch geringe Mengen Kohlendioxyd und Methan.

Je nach den vorhandenen Rohstoff- und Energiequellen kann der Wasserstoff aber auch aus Erdgas durch Krackung, aus Kokereigas durch Tieftemperatur-Zerlegung oder durch elektrolytische Zersetzung des Wassers gewonnen werden. Ebenso kann man den Stickstoff durch Luftzerlegung gewinnen.

Bei Wassergas und Generatorgas als Rohstoff werden beide zum sogenannten Synthesegas in einem solchen Verhältnis gemischt, daß die Summe des Wasserstoff- und Kohlenoxyd-Gehaltes etwa das Dreifache des Stickstoffgehaltes ausmacht. Unter Zugabe von Wasserdampf wird dann das Kohlenoxyd an Katalysatoren zu Kohlendioxyd verbrannt, wobei Wasserstoff frei wird.

Das Gas wird nun in mehrstufigen Hochdruckkompressoren zunächst auf etwa 25 at verdichtet. Unter diesem Druck wird es in eine Wasserwäsche gegeben, wobei sich das Kohlendioxyd im Wasser löst und auf diese Weise ausgeschieden wird. Der verbliebene Gasanteil, der nun nur noch Wasserstoff und Stickstoff enthält, wird weiter auf den Reaktionsdruck von meistens 200 bis 500 at verdichtet und auf die Reaktionstemperatur von 500 °C erhitzt. Dabei bilden sich etwa 10 % Ammoniak. Durch Abkühlung wird



das Ammoniak verflüssigt und abgezogen. Die nicht umgesetzten Gase gehen zurück in das Reaktionsgefäß. Das Ammoniak wird zum größten Teil zu Stickstoff-Düngemitteln weiterverarbeitet.

Je Kilogramm Ammoniak sind etwa  $2,7 \text{ Nm}^3$  Synthesegas (Wasserstoff und Stickstoff) erforderlich. Zur isothermen Verdichtung dieser Gasmenge auf 400 at und zum Verdichten des Kohlendioxidanteils auf den Abscheidedruck von 25 at werden theoretisch etwa  $0,6 \text{ kWh}$  benötigt. Unter Berücksichtigung der teils adiabatischen Verdichtung, der Wirkungsgrade, der Pumpen für den Hochdruckkreislauf usw. liegt der tatsächliche Bedarf an elektrischer Energie erheblich höher. In — allerdings älteren — Veröffentlichungen wird ein Energiebedarf von 1,8 bis  $2,0 \text{ kWh/kg}$  Ammoniak angegeben. Für die chemische Reaktion ist keine Energiezufuhr notwendig, je Kilogramm Ammoniak werden im Gegenteil  $0,8 \text{ kWh}$  als Wärme frei, die zum Aufheizen des Gases auf Reaktionstemperatur ausgenutzt wird.

Ein anderes Anwendungsgebiet von Elektromotoren zum Antrieb von großen Kompressoren ist die Zerlegung von Gasgemischen bei tiefen Temperaturen. Die Einrichtungen hierfür werden in Deutschland nach ihrem Erfinder oft auch als *Lindeanlagen* bezeichnet. Einige Beispiele wurden in den vorangegangenen Abschnitten bereits erwähnt, nämlich die Gaszerlegung zum Abtrennen von Äthylen, höheren Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff beim Lichtbogenverfahren, die Zerlegung von Kokereigas zum Gewinnen von Wasserstoff, die Zerlegung von Luft in Stickstoff und Sauerstoff.

Die technischen Verfahren der Gaszerlegung beruhen alle darauf, daß auf Grund der unterschiedlichen Siedepunkte der Komponenten die bei hinreichender Abkühlung sich bildende flüssige Phase eine andere Zusammensetzung aufweist als das Ausgangsgemisch. Die beiden Hauptkomponenten der Luft, nämlich Sauerstoff ( $20,95 \text{ Vol.-%}$ , Siedepunkt  $-183^\circ \text{C}$  bei  $760 \text{ mm Hg}$ ) und Stickstoff ( $78,09 \text{ %}$ , Siedepunkt  $-196^\circ \text{C}$ ) bilden z. B. bei 6 at und  $-173^\circ \text{C}$  eine flüssige Phase, die schon  $40 \text{ %}$  Sauerstoff enthält. Durch anschließende Entspannung und gleichzeitige Abkühlung auf  $-193^\circ \text{C}$  und nochmalige Kondensation in sogenannten Rektifikationssäulen erreicht man eine vollständige Trennung in gasförmigen Stickstoff und teilweise flüssigen Sauerstoff. Die Aufgabe besteht also in erster Linie darin, das Gasgemisch auf tiefe Temperaturen abzukühlen. Als Kälte Träger kann man entweder ein Fremdgas, z. B. Ammoniak, verwenden oder aber auch das zu zerlegende Gasgemisch selbst. Bei der im folgenden betrachteten Luftzerlegung wird die Luft direkt abgekühlt.

Für die Kälteerzeugung wird der Joule-Thomson-Effekt ausgenutzt. Entspannt man komprimierte Luft von Normaltemperatur über ein Drosselventil, so kühlt sie sich um rd.  $0,25 \text{ grad.}$  je Atmosphäre Druckabfall ab. Größer ist die Temperaturdifferenz — und damit der Wirkungsgrad der Anlage besser — wenn die Ausgangstemperatur niedriger ist oder das Gas über eine Expansionsturbine entspannt wird, wobei sogar noch eine Energierückgewinnung möglich und bei großen Anlagen auch lohnend ist.

Wollte man allein durch den Joule-Thomson-Effekt Luft auf Zerlegungstemperatur in einer Stufe abkühlen, so würden sich sehr große Drucke und damit ein sehr hoher Energieverbrauch ergeben. In den Lindeanlagen wird deshalb immer nur ein Teil des Gasgemisches oder ein Teil einer Komponente flüssig abgezogen, der andere Teil kühlt im Gegenstrom das komprimierte Gas und tritt dann annähernd mit Eingangstemperatur wieder aus.

Werden alle Komponenten gasförmig abgezogen, so ist, nachdem die Anlage eine gewisse Kältemenge zum Abkühlen der Aggregate und zum Bilden eines flüssigen Sumpfes in der Rektifikationssäule erzeugt hat, theoretisch überhaupt keine Energiezufuhr mehr notwendig, denn der

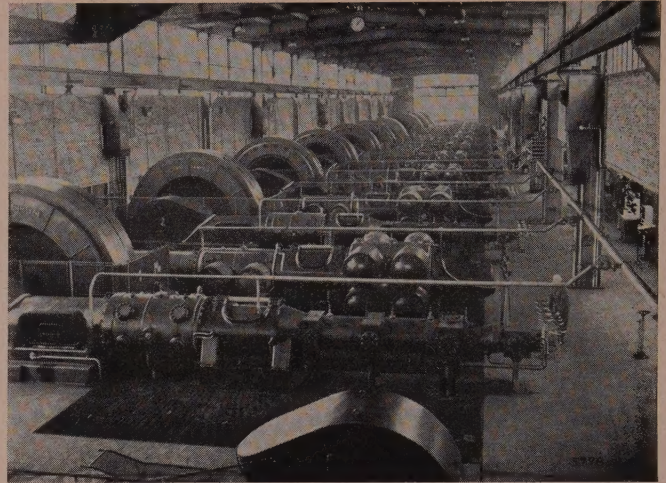


Bild 8. Hochdruck-Kompressoren für je  $15\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , 6-stufig, Enddruck 325 at, Antriebsleistung  $4000 \text{ kW}$ .

Energie-Inhalt der zugeführten Luft und der abgeführten Komponenten ist, sofern Eingangs- und Ausgangstemperaturen gleich sind, ebenfalls gleich. Da aber zum Wärmeaustausch in den Gegenstromapparaten immer eine Temperaturdifferenz vorhanden sein muß, die Anlage auch Kälteverluste durch unvollkommene Isolation hat, muß natürlich immer Energie zugeführt werden.

Ein Maß für die zugeführte Kälte und für den Wirkungsgrad der Kälteerzeugung ist der Druck, auf den die Luft komprimiert werden muß. Bei den sogenannten Hochdruckanlagen mit Entspannung über Drosselventile beträgt der Druck etwa 80 at, der Energiebedarf etwa  $0,2 \text{ kWh/Nm}^3$  zerlegter Luft. Mitteldruckanlagen mit Entspannung eines Teiles der Luft über Expansionsturbinen arbeiten bei 10 bis 20 at und haben einen Energiebedarf von etwa  $0,15 \text{ kWh/Nm}^3$ . Niederdruckanlagen nach *Linde-Fränk* mit Entspannung der gesamten Luftmenge über Expansionsturbinen komprimieren auf rd. 6 at bei einem Energiebedarf von rd.  $0,09 \text{ kWh/Nm}^3$ . Wird ein größerer Teil der zerlegten Luft flüssig abgezogen, so steigt der Energiebedarf merklich an.

Sowohl für die Gassynthesen als auch für die Gaszerlegung werden, je nach Art des Gases, nach Gasmenge und Druck, Kolbenkompressoren, Turboverdichter oder Schraubenverdichter verwendet. Als Antrieb dienen sowohl Synchron- oder Asynchronmotoren mit 1500 oder  $3000 \text{ U/min}$  als auch langsam laufende Synchronmotoren mit 150 bis  $375 \text{ U/min}$ . Die Spannungen betragen meist 6000 oder  $10\,000 \text{ V}$ , die Leistungen — selbst bei Asynchronmotoren mit direktem Anlauf — bis  $6000 \text{ kW}$ . Die Anlaufströme von 4000 bis  $8000 \text{ A}$  setzen natürlich ein entsprechend leistungsfähiges Netz voraus. Bild 8 zeigt einen Blick in eine Kompressorhalle einer Ammoniak-Syntheseanlage.

### Zusammenfassung

Die chemische Industrie, die Mineralölverarbeitung, Kohlewertstoff-Industrie und die aluminiumerzeugende Industrie verbrauchen zusammen an elektrischer Energie mehr als ein Drittel des gesamten Energiebedarfs der westdeutschen Industrie. Besonders große Energieverbraucher sind die Chlor-Elektrolysen, die Aluminium-Elektrolysen, die Kalzium-Karbidöfen, Phosphoröfen und Azetylenöfen, ferner elektromotorische Antriebe von Pumpen und Kompressoren, z. B. für Hochdruck-Synthesen wie die Ammoniakherzeugung nach *Haber-Bosch* und für die Gaszerlegung nach *Linde*. Diese „Großverbraucher“ sind am Energieverbrauch der genannten Industriezweige mit  $68,2 \text{ %}$  beteiligt.



# Energie- und Produktionsüberwachung in der chemischen Industrie

Von Heino Burmester, Heiligenhaus\*)

DK 621.317.7.087.61 : 66

In der chemischen Industrie nehmen die Energie- und Fertigungsüberwachung eine wichtige Stellung ein. Aus der Erkenntnis, daß gerade in diesem Industriezweig die Unkosten für Energie- und Rohstoffe besonders hoch sind, ist es verständlich, daß großer Wert auf ein schnelles und einfaches Erfassen der Energie- und Rohstoffmengen gelegt wird. Die gleiche Forderung besteht beim Überwachen der Fertigerzeugnisse, damit man auch hier möglichst rasch eine Übersicht über die Fertigung erhält.

## Meß- und Registriereinrichtungen

Zum Überwachen der Energieverteilungs- und Produktionsanlagen ist eine Vielzahl von Meßstellen erforderlich. Beispielsweise muß der Verbrauch an Gas, Elektrizität, Dampf, Wasser, Rohstoffen erfaßt werden. Dazu verwendet man meist schreibende Meßgeräte, die den Momentanwert aufzeichnen, z. B. im Durchflußverfahren mit einem Drosselgerät und schreibenden Differenzdruckmessern. Die Elektrizitätsversorgung verwendet Linienschreiber mit elektronischen Meßwerken für Strom, Spannung und Leistung.

Zum Erfassen dieser Werte sind Registrierinstrumente wichtige Geräte. Man muß sich jedoch fragen, ob sie bei der Mengenregistrierung, um die es sich in der Energie- und Produktionsüberwachung in den meisten Fällen handelt, genügen.

Wenn die Diagrammstreifen als Verrechnungsgrundlage dienen sollen, so muß die Aufzeichnung ausplanimetriert werden. Dies ist zeitraubend und ungenau. In größeren chemischen Betrieben sind sogenannte Energiekontrollbüros fast ausschließlich damit beschäftigt, die täglich anfallenden Diagrammstreifen zu planimetrieren und auszuwerten, sofern man sich nicht entschließt, die Kurven mit einem schnell und selbsttätig arbeitenden elektronischen Diagrammabtaster auszuwerten. Will man dem Betriebsmann weiterhin ein Diagramm liefern, ohne es jedoch zu planimetrieren, so kann ein Mittelwertschreiber mit seiner gedrängten und übersichtlichen Registrierung verwendet werden. Zum Betrieb dieser Geräte muß der Meßwert als Impulsfolge gegeben werden.

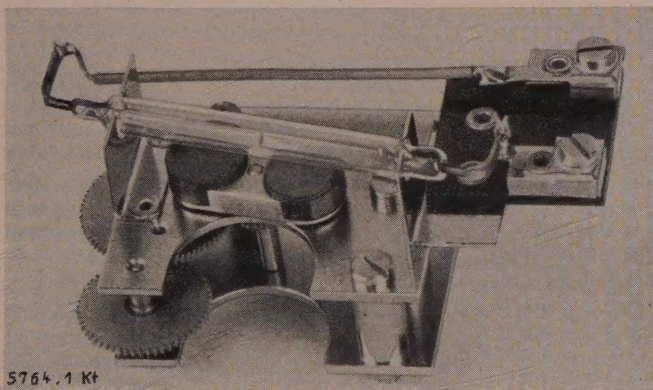


Bild 1. Magnetisch gesteuerter Kontaktgeber.

Volumen-, Elektrizitäts- und Stückzähler sind Geräte, die auf einem Zählwerk unmittelbar die integrierten Meßwerte anzeigen. Bei diesen Geräten ist es verhältnismäßig einfach, den Meßwert in eine Impulsfolge umzuwandeln. In Bild 1 ist z. B. eine Kontaktgeber-Einrichtung dargestellt, die an das Zählwerk eines Gaszählers angebaut werden kann. Der in einem Glasrohr hermetisch abgeschlossene Kontakt wird von einer Magnetsteuerscheibe betätigt. Diese Magnetsteuerscheibe wird über ein Getriebe

mit Wechselrädern, die zum Anpassen der Impulswertigkeit dienen, vom Zähler angetrieben.

Schwieriger gestalten sich die zeitliche Integration von Momentanwerten, wie z. B. Druck, Temperatur, Differenzdruck usw., sowie das Zusammenschalten von Korrekturgrößen mit der Meßgröße. Diese Aufgaben lassen sich meist

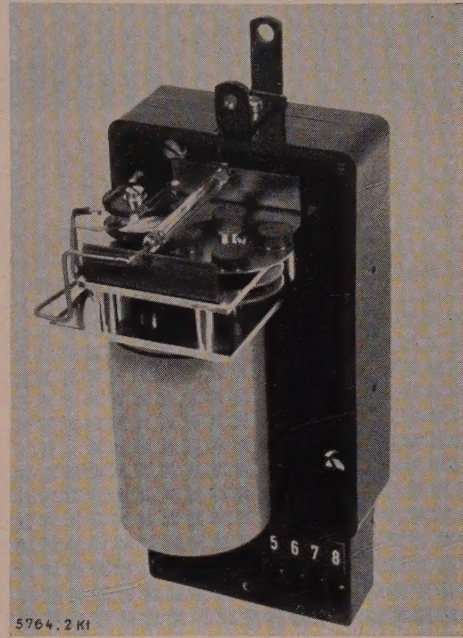


Bild 2. Meßmotor mit Kontaktgeber.

mit Transmittern mit elektrischem Ausgang lösen. Diese Meßgrößen-Umformer, die oft zusammen mit einer Rechenschaltung arbeiten, liefern einen der Meßgröße oder der korrigierten Meßgröße proportionalen Strom. Analoge Rechenoperationen werden, wenn notwendig, noch am Meßort durchgeführt. Die analogen Meßwerte können dem Betriebsmann durch elektrische Anzeige oder Registrierung sichtbar gemacht werden.

Eine einfache Lösung für die Meßwert-Weiterverarbeitung ist auf folgendem Wege möglich: Die analoge Meßgröße wird von einem Analog-Digital-Wandler in Impulse umgeformt. Dieses Gerät besteht aus einem sogenannten „Meßmotor“, der über ein Anpassungsgetriebe mit Magnetsteuerscheibe wiederum einen hermetisch abgeschlossenen Kontakt betätigt. Der Meßmotor wird von dem Ausgangs-Gleichstrom des Transmitters angetrieben. Die Charakteristik dieses Motors ist so gewählt, daß seine Drehzahl unmittelbar proportional der Stärke des durchfließenden Gleichstromes ist. Man erhält also im Ausgang dieses Gerätes eine Impulsfrequenz, die proportional dem Ausgangsstrom des Transmitters ist; über Wechselräder läßt sich die Impulswertigkeit anpassen. In Bild 2 ist ein derartiges Gerät gezeigt. Leitet man diese Impulse zu Zählwerken oder Registriergeräten, so erhält man eine integrierte Aufzeichnung oder Anzeige.

Der Mittelwertschreiber<sup>1)</sup> z. B. schreibt den Mittelwert der Meßgröße über bestimmte Zeiten, die sogenannten Meßperioden, meist 15 oder 60 Minuten, auf. Aufgezeichnet wird ein Strichdiagramm, wobei der Zeigerausschlag ein Maß für die während einer Meßperiode angefallenen Impulse ist. Von einem Schleppzeiger wird der erreichte höchste Mittelwert angezeigt. Solche Geräte gibt es in verschiedenen Ausführungen mit z. B. 50 oder 120 mm Schreibbreite

\*) Ing. H. Burmester ist Mitarbeiter der AEG-Fabrik Heiligenhaus.

1) Burmester, H., u. Häringer, W.: Mittelwertschreiber und ihre Anwendung. Elektrotechn. Bd. 42 (1960) S. 31–32.



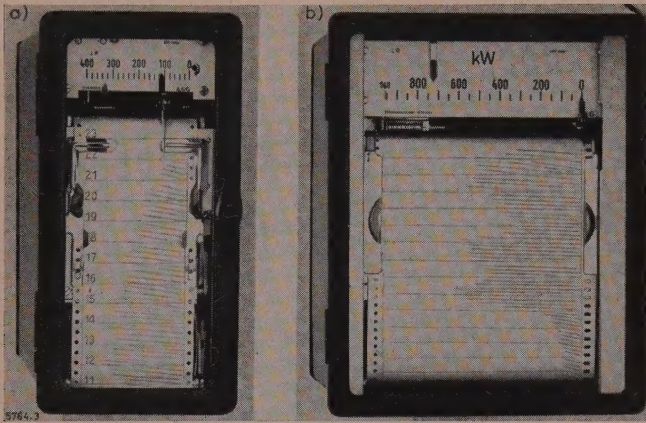


Bild 3. Mittelwertschreiber mit 50 mm und 120 mm Schreibbreite.

(Bild 3), mit und ohne Fernzählwerk. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, wie einfach bei dieser Art der Aufzeichnung die Auswertung ist. Außerdem bietet das Diagramm dem Betriebsmann eine klare Übersicht über seine Tagesbelastung. Die Meßperiode kann, falls erforderlich, bis auf 5 min verkleinert werden. Es ist außerdem zu beachten, daß bei dieser Aufzeichnungsart erheblich Registrierpapier eingespart werden kann. Bei 60-min-Meßperioden werden z. B. nur 72 mm/Tag Papier benötigt. 20 m Registrierstreifen würden also für rd. 270 Tage ausreichen.

Sollte die Aufzeichnung in einem Strichdiagramm für die Genauigkeit der Auswertung nicht ausreichen, so kann an Stelle des Mittelwertschreibers ein Mittelwertdrucker verwendet werden, der die in einer Meßperiode anfallenden Impulse als gedruckte Zahl registriert. In Bild 4 sind das Gerät und ein bedruckter Streifen gezeigt. Es ist zu erkennen, daß die Nullstellung des Druckzählwerkes nach seiner Rückstellung am Ende der Meßperiode zur Kontrolle abgedruckt wird. Das Gerät kennzeichnet außerdem den progressiven Höchstwert, d. h. jeder Mittelwert einer Meßperiode, der größer ist als ein vorheriger, wird durch ein Kreuz gekennzeichnet. Er kann zweifarbig und auf zwei übereinanderlaufenden Streifen gedruckt werden. Man erhält also ein echtes Duplikat. Der Mittelwertdrucker wird vorteilhaft an Stellen mit großem Energiefluß benutzt, um dort den Meßwert mit möglichst großer Genauigkeit zu erfassen.

Die zuletzt beschriebenen Geräte liefern eine Aufzeichnung, die einfach und schnell ausgewertet werden kann.

In der chemischen Industrie fallen sehr viele Meßwerte an, deren rationelle Erfassung auf verschiedene Arten versucht wurde. Die nächstliegende Art der Registrierung ist, den Zählerstand jeder Meßstelle z. B. täglich abzulesen und zu notieren. Dieses Verfahren ist aber zeitraubend und unsicher, da Abschreibfehler auftreten können; außerdem ist ein gleichzeitiges Ablesen der Zähler nicht möglich. Nach einem anderen Verfahren werden die Zählerstände zu bestimmten Zeiten photographiert. Dabei werden die Meß-

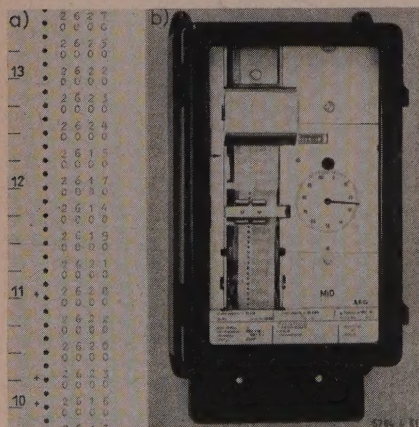


Bild 4. Mittelwertdrucker mit bedrucktem Streifen.

werte zwar zeitgleich erfaßt, jedoch ist die Weiterverarbeitung der Meßwerte sehr aufwendig.

Um zu einer automatisierten Meßwert-Verarbeitung zu kommen, kann man die Meßwerte in Lochkarten speichern. Es sind Geräte bekannt, die unmittelbar an der Meßstelle eine gelochte Karte liefern, die in gebräuchlichen Lochkartenmaschinen ausgewertet werden können. Mit diesen Geräten ist ein zeitgleiches Erfassen der Meßwerte aller Meßstellen möglich. Der Aufwand je Meßstelle kann jedoch erheblich herabgesetzt werden, wenn auf das verhältnismäßig teure Lochstanzenwerk an jeder Meßstelle verzichtet und auf einem Lochstreifen als Zwischenträger registriert wird. Die Meßwerte können anschließend in einem besonderen Arbeitsgang auf Karten umgelocht werden.

Das nach diesem Verfahren entwickelte Datafix-System benutzt einen Fernschreib-Lochstreifen als Zwischenträger. Der Lochstreifen befindet sich in einem sogenannten Meßwertsammler, der von Hand nacheinander auf die einzelnen Zählspeicher an der Meßstelle geschoben wird, wobei sich der eingespeicherte Meßwert und die zugehörige Meßstellenummer automatisch in den Lochstreifen nach dem Fernschreib-Kode einlochen. Die Zählspeicher sind ver-

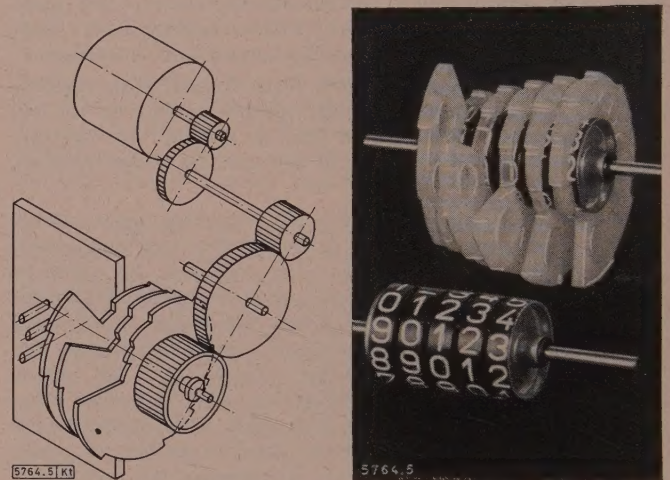


Bild 5. Grundgedanke des Zählspeichers (dreistelliger Meßwert) und Lichtbild eines fünfstelligen Zählwerkes.

hältnismäßig billige und betriebssichere Bauelemente. Sie sind je Meßstelle einmal vorhanden. Der Meßwertsammler dagegen ist für eine Anlage nur einmal erforderlich.

### Zählspeicher

Für die verschiedenen Meßaufgaben sind besondere Zählspeicher vorgesehen, welche die vom Geber kommenden Festmengen-Impulse summieren. Der einfachste Speicher dient zum Erfassen des fortlaufenden Zählerstandes. In Bild 5 ist der Grundgedanke eines derartigen Speichers gezeigt. Der Schrittmotor formt die ankommenden Mengenimpulse in eine Drehbewegung um, die über Zahnräder so angepaßt ist, daß das Rollenzählwerk je Impuls um eine Ziffer weitergeschaltet wird.

Bei diesem Rollenzählwerk liegen die Weberschalttritzel innen, so daß auf jede Ziffernrolle eine Staffelscheibe aufgesetzt werden kann. Diese Staffelscheiben setzen die Ziffern von 0 bis 9 einer jeden Dekade in bestimmte radiale Längen um. Die Meßstellen können ebenso durch verschiedene lange Ziffernbolzen gekennzeichnet werden.

Das System ist auf eine achtstellige Registrierung für jede Meßstelle aufgebaut, das heißt, zum Erfassen des fortlaufenden Zählerstandes können der Meßwert z. B. fünfstellig und die Meßstellenummer dreistellig sein, wie es in Bild 5 dargestellt ist.

Diese Art von Zählspeichern stellt einfache impuls-gesteuerte Fernzählwerke dar, die mechanisch abgetastet werden können. Die in den einzelnen Zählspeichern aufgelaufenen Impulszahlen, einschließlich der Meßstellen-



nummer, werden von einem Meßwertsammler registriert, der auf die Zähl Speicher aufgeschoben wird. Jeder Zähl Speicher trägt zwei Führungsbolzen, die ein einwandfreies Ansetzen des Meßwertsammlers verbürgen.

### Meßwertsammler

Im Meßwertsammler werden die Meßwerte nach dem Fernschreib-Kode verschlüsselt in Fernschreib-Streifen eingelocht. Diese Art der Registrierung wurde gewählt, damit die Meßwerte, z. B. die Lochung in Karten, mit handelsüblichen Maschinen weiterverarbeitet werden können, wobei die Art des Lochkartensystems nicht vorgeschrieben ist. Diese Registrierung gestattet außerdem das Übermitteln der Meßwerte über Fernschreiber, z. B. zu einer zentralen Auswertstelle. Schließlich ist der Streifen ein günstiger Speicher, weil er bei geringem Platzbedarf verhältnismäßig viele Meßwerte aufnimmt.

Bild 6 zeigt den Grundgedanken des Meßwertsammlers. Es enthält acht Abtastschieber 1 entsprechend der Stellenzahl der Zähl Speicher, von denen im Bild aber nur vier gezeichnet sind. Beim Abtasten werden diese Schieber, je

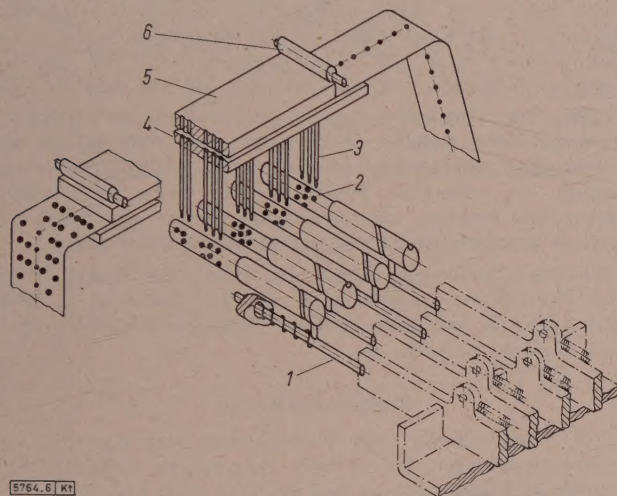


Bild 6. Meßwertsammler.

- |                    |                  |                 |
|--------------------|------------------|-----------------|
| 1 Abtastschieber   | 3 Stanzstempel   | 5 Schnittplatte |
| 2 Verschlußerwalze | 4 Führungsplatte | 6 Lochexzenter  |

nach Stellung der Staffelscheiben oder je nach Länge des eingeschraubten Ziffernbolzens, mehr oder weniger zurückgeschoben, wobei alle acht Stellen des Speichers gleichzeitig abgefühlt werden.

Die Längsbewegung dieser Abtastschieber 1, die verdrehsicher angeordnet sind, wird über einen Führungsstift, der in einer Schneckenut gleitet, in eine Drehbewegung umgesetzt. Diese Bewegung wird auf die Verschlußerwalzen 2 übertragen, die entsprechend der Stufung in den Staffelscheiben für jede folgende Zahl um jeweils  $36^\circ$  gedreht werden. Diese Steuerung ist so ausgebildet, daß bei größtmöglicher Verschiebung der Abtastschieber die Verschlußerwalze genau eine Umdrehung macht. Der Umfang dieser Steuerwalzen ist mit Löchern versehen, entsprechend dem negativen Bild des in Bild 7 gezeigten Fernschreib-Kode. Über jeder Walze sind fünf Lochstempel 3 mit den entsprechenden Führungsplatten 4, der Schnittplatte 5 und den Rückführungen vorgesehen.

Gelocht wird mit zwei Exzentern 6, die durch Federkraft einmal gedreht werden und dabei das Registrierpapier gegen die Stanzstempel schieben. Die Stempel werden vom Papier in Richtung auf die Verschlußerwalzen zurückgedrückt. Die Stanzstempel, die in ein Loch zurückgeschoben werden können, lochen nicht; die anderen setzen auf den Umfang der Steuerwalzen auf und lochen den Streifen. Wenn die Lochexzenter in ihre Ausgangsstellung zurückgegangen sind, ist der Streifenvorschub sowie die Drehbewegung der Steuerwalzen wieder freigegeben. Bild 8 zeigt den Meßwertsammler.

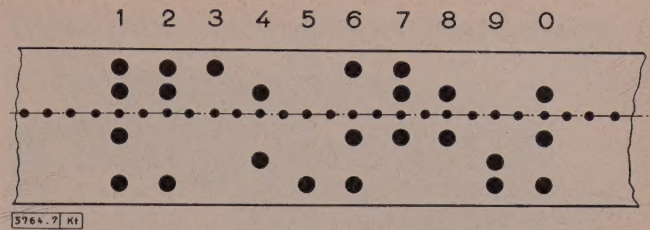


Bild 7. Ziffernschlüssel des Fernschreib-Kodes.

Der Registriervorgang, d. h. das Lochen, wird automatisch vom Meßwertsammler ausgelöst, wenn dieser auf den Zähl Speicher aufgeschoben ist. Aus konstruktiven Gründen kann nur jede zweite Zeile im Lochstreifen ausgenutzt werden. Der Registrierstreifen kann mindestens 400 achtstellige Meßwerte aufnehmen. Er ist mit einem Aufdruck versehen, der das einwandfreie Einlegen in die Auswert-einrichtung erleichtert. Mit einem Schnellspannhebel wird der Registrierstreifen über ein Stiftenrad um den für einen achtstelligen Meßwert erforderlichen Betrag weitergeschoben. Gleichzeitig wird mit diesem Hebel eine Feder zum Lochen des nächsten Meßwertes gespannt.

Beim Auswerten der gelochten Streifen ist es vorteilhaft, wenn zwischen den Zahlenwerten der einzelnen Meßstellen ein Trennsignal liegt. Dieses Gleichlaufsignal wird darum automatisch bei jeder Registrierung als 9. Stelle mit eingelocht. Hierfür sind drei verschiedene Möglichkeiten vorgesehen, und zwar „Wagenrückzug“, „Leertaste“ und „Zeilensprung“, die in jedem Sammler eingestellt werden können. Das Signal kann beispielsweise im angeschlossenen Kartenlocher das Auswerfen und Neueinführen einer Karte veranlassen. Ferner ist ein Schnitzelfänger vorhanden, der die Stanzabfälle sammelt.

In den Meßwertsammler sind Sicherungen eingebaut, die dafür sorgen, daß keine Fehlmessung vorkommen kann. So ist es z. B. nicht möglich, den Streifen doppelt zu lochen. Der Papiervorrat kann durch ein Fenster beobachtet werden. Eine Sperre sorgt dafür, daß der Sammler erst dann auf den nächsten Zähl Speicher aufgeschoben werden kann, wenn zuvor der Schnellspannhebel betätigt worden ist und seine Ruhestellung eingenommen hat.

In vielen Fällen reicht der Zähl Speicher für den fortlaufenden Zählerstand nicht aus. Z. B. besteht der Wunsch, die täglichen Meßwerte genau gleichzeitig zu erfassen. Für diese Meßaufgabe wird jeder Zähl Speicher durch einen Über-gabespeicher ergänzt (Bild 9). Der Schrittmotor treibt über Zahnräder ein Rollenzählwerk an. In der dargestellten Ausführung ist das Zählwerk dreistellig und rückstellbar. Für die tägliche oder schichtweise Meßwerterfassung reicht ein dreistelliges Zählwerk bei weitem aus, da hierbei die Meß-ungenauigkeit etwa nur 1% beträgt. Die drei Ziffernrollen sind ebenfalls mit Staffelscheiben 8 versehen, vor die drei Speicherschieber 1 angeordnet sind. Jeder Schieber ist mit zehn Raststellungen versehen, entsprechend dem Stufen-sprung der Staffelscheiben. Alle drei werden von einer gemeinsamen Sperrklinke 6 gerastet. Ein Steuermotor 5,

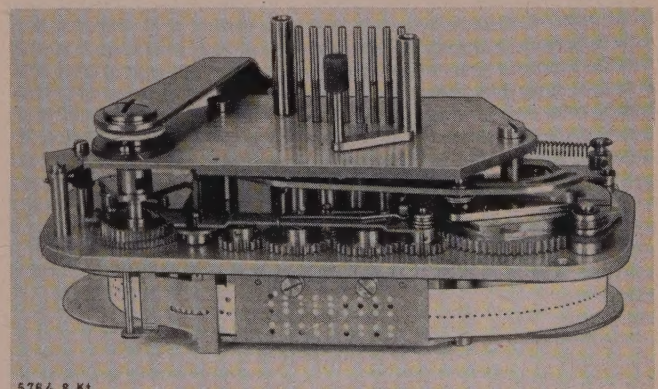
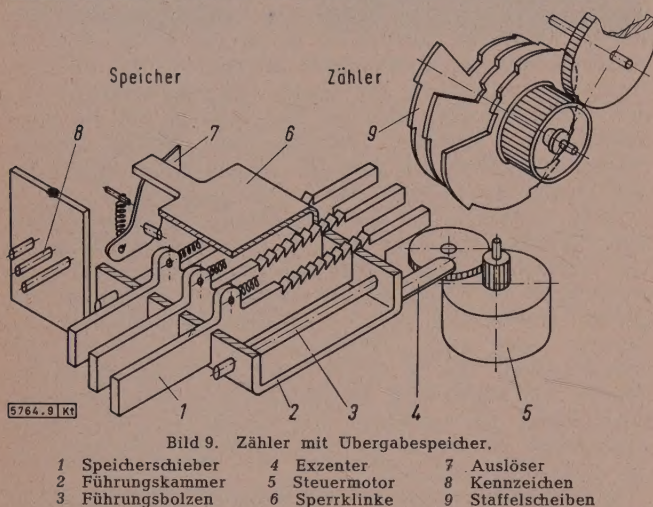
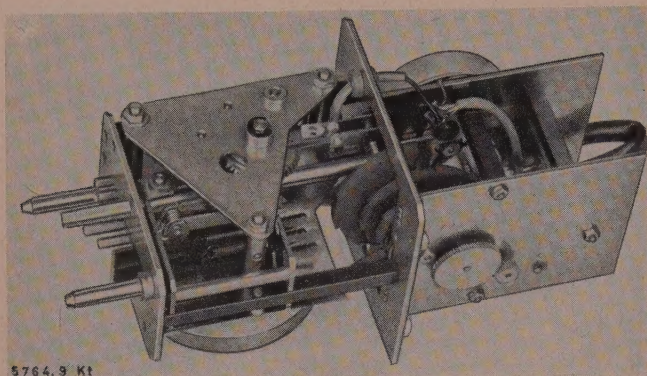


Bild 8. Meßwertsammler, geöffnet.





der auf ein Kommando von außen anläuft, drückt die Speicherschieber 1 über einen Exzenter gegen die Staffelscheiben 9. Die Stellung der Staffelscheiben wird also in den Übergabespeicher gegeben. Danach stellt der Steuermotor das Zählwerk selbsttätig zurück. Der gespeicherte Meßwert bleibt bis zur nächsten Meßwertübergabe abtastbereit. Erst unmittelbar vor der nächsten Meßwertübernahme wird der alte Meßwert gelöscht.

Die Geräte mit Übergabespeicher sind auch mit einer Meßstellenummer versehen. Hier kann sie sogar fünfstellig sein, da der Meßwert nur dreistellig ist.

Der Zählspeicher mit Übergabespeicher enthält in der Normalausführung keinen Impulsspeicher für die Zeit der Übergabe des Meßwertes. Er ist bei einer dreistelligen Meßwerterfassung am Tag nicht erforderlich, da höchstens

ein Impuls während der Übergabezeit verlorengehen kann. Bei schnellerer Impulsfolge kann unter Umständen ein Impulsspeicher für die Übergabezeit erforderlich sein. Ein solcher Speicher kann bei Sonderausführungen eingebaut werden.

In der Produktionsüberwachung werden häufig die Meßwerte jeder Schicht benötigt. Hier ist eine genau zeitgleiche Meßwerterfassung oftmals nicht notwendig. Für diesen Fall ist ein Zählspeicher vorgesehen, der nach der Abfrage durch den Meßwertsammler selbsttätig auf „Null“ zurückgestellt wird. Die Rückstellung wird eingeleitet, sobald der Meßwertsammler den Meßwert übernommen hat und von dem Zählspeicher abgenommen wird.

### Auswertung der Lochstreifen

Sollten in einigen Fällen die Konstantwerte, die in dem Zählspeicher vorgesehen sind, nicht ausreichen, um ordnungsgemäß abrechnen zu können, so besteht beim Umlochen der Meßwerte aus dem Streifen in Karten die Möglichkeit, beliebig viele Konstantwerte, die der Meßstelle zugeordnet werden können, mit einzulochen. Zu diesem Zweck ist in der Auswertstelle ein Konstantwertspeicher vorgesehen, der beim Abfühlen der Meßstellenummer angewählt wird und alle Konstantwerte, die für die betreffende Meßstelle vorgesehen sind, an den Kartenlocher ausgibt. Der Streifenleser wird während dieser Ausgabezeit angehalten, damit z. B. hinterher der Meßwert an den Kartenlocher übertragen werden kann. Außerdem ist es möglich, an zentraler Stelle einfach einen Lochstreifen-gesteuerten Drucker zu verwenden, wenn die Meßwerte lediglich übersichtlich niedergeschrieben werden sollen.

Das Datafix-System eignet sich besonders zum Erfassen einer Vielzahl von Meßwerten, da der Aufwand je Meßstelle klein ist und eine zentrale Meßwert-Verarbeitung in jeder Hinsicht möglich ist.

### Zusammenfassung

Die Überwachung und Verrechnung von Energie- und Produktionsmengen ist in der chemischen Industrie von besonderer Bedeutung. In dem Aufsatz wird ein neues Verfahren beschrieben, mit dem der Energieverbrauch sowie die Produktionsmengen bei einer großen Anzahl von Meßstellen rationell erfaßt werden können. Bei dem Verfahren ist an jeder Meßstelle ein Speicher vorgesehen, der mit Hilfe eines Meßwertsammlers mechanisch abgetastet und der Meßwert verschlüsselt nach dem Fernschreibkode gelocht wird. Mit jedem Meßwert wird selbsttätig die zugehörige Meßstellenummer registriert. Die Registrierung kann mit handelsüblichen Maschinen ausgewertet werden.

## Die Reinigung der Luft von radioaktiven Aerosolen

DK 614.712 : 614.73

Das Reinigen der Luft und der Abgase von radioaktiven Beimengungen hat eine so große Bedeutung und eine so vielfache Bearbeitung gefunden, daß eine Zusammenfassung über dieses Thema, wie sie der Verfasser zunächst in dem vorliegenden ersten Teil seines Aufsatzes gibt, sehr zu begrüßen ist<sup>1)</sup>. Nach einer Darstellung der allgemeinen Gesichtspunkte bei der Auswahl von Luftreinigungs-Einrichtungen — mit einer Tafel über den Anwendungsbereich verschiedener handelsüblicher Aerosol- und Grobstaubabscheider sowie einer Abbildung, aus der die Teilchengrößen luftverunreinigender Partikel und gebräuchliche Verfahren zum Messen der Teilchengröße vereinfachend aber übersichtlich zu ersehen sind — geht der Verfasser auf die besonderen Probleme bei der Abscheidung radioaktiver Aerosole ein. Dabei steht an erster Stelle die Verhinderung einer Gefährdung des Menschen durch Strahlung, besonders beim Einatmen. Die Ausführungen werden durch einige instruktive Tafeln ergänzt. Sieben Hauptanforderungen werden aufgeführt, die für eine zuverlässige Funktion der Abscheider von Bedeutung sind

In dem Abschnitt über die physikalischen Grundlagen der Aerosol- und Grobstaubabscheidung werden Schwerkraft, Trägheits- und Zentrifugalkräfte, Sperrreffekt, Diffusion, elektrostatische Kräfte und Siebwirkung erwähnt und mit zwei Tafeln erläutert. Je nach ihrer Entstehung, Konzentration, spezifischen Aktivität, chemischen Beschaffenheit und den anfallenden kontaminierten Luftmengen werden die radioaktiven Aerosole auf folgende Gruppen verteilt:

Uran und Thorium verarbeitende Industrie; Kühlluft von Kernreaktoren; radioaktive Abgase bei der chemischen oder technischen Bearbeitung von hochaktivem Material.

Im VI. Abschnitt wird die Brauchbarkeit handelsüblicher Aerosol- und Grobstaubabscheider bei radioaktiver Luftverunreinigung unter Anführung von Grobabscheidern, elektrostatischen Präzipitatoren und Tuchfiltern behandelt. Dem wichtigsten Kapitel der Luftfilter (Trockenfilter) auf Faserbasis wird ein besonderer Abschnitt gewidmet, wobei als Werkstoff für Fasern Asbest, Glasfasern und Kunststofffasern kurz gestreift werden und als Filtertypen Absolutfilter, Tiefbettfilter und Vorfilter zur Sprache kommen. Jae

<sup>1)</sup> Lassen, L.: Atomwirtsch. Bd. 5 (1960) S. 511–518; 2 B., 6 Taf.



# Elektrische Widerstandsöfen zum Erzeugen von gelbem Phosphor

Von Günter Breil, Knapsack, und Karl Schlosser, Mannheim\*)

DK 621.365.32 : 661.631.4

## Die Gewinnung von Phosphor

Phosphor kommt als freies Element wegen seiner starken Affinität zum Sauerstoff in der Natur nicht vor. Er wird als Apatit gefunden, meist als Fluorapatit  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$  oder als Phosphorit zusammen mit Kalziumkarbonat, Kalziumsulfat und anderen Mineralien. Im allgemeinen sind die natürlichen Rohphosphate Ablagerungen von Tier-, insbesondere von Fischskeletten, oder sie sind durch Verwitterung von Seevögelekkrementen und Reaktion mit darunter lagerndem Kalkstein entstanden. Ein verhältnismäßig reiches Phosphaterz mit 75 % Trikalziumphosphat enthält nur 15 % Phosphor. Die größten erschlossenen Vorkommen befinden sich in den Vereinigten Staaten von Nordamerika (Florida, Tennessee und Idaho), in Nordafrika (Marokko, Algerien und Tunesien) und Rußland (Kola-Halbinsel, Kara-Tau-Gebirge). Die Weltförderung an Rohphosphat betrug 1959 etwa 37 Mio. t, wovon jedoch nur etwa 11 % auf elementaren, sogenannten gelben Phosphor verarbeitet wurden. Der größte Teil der Rohphosphatförderung wird zum Herstellen von Düngemitteln benutzt.

Gelben Phosphor stellt man technisch seit mehr als 100 Jahren her, seit mehr als 30 Jahren jedoch ausschließlich auf elektrothermischem Wege im Widerstandsöfen.

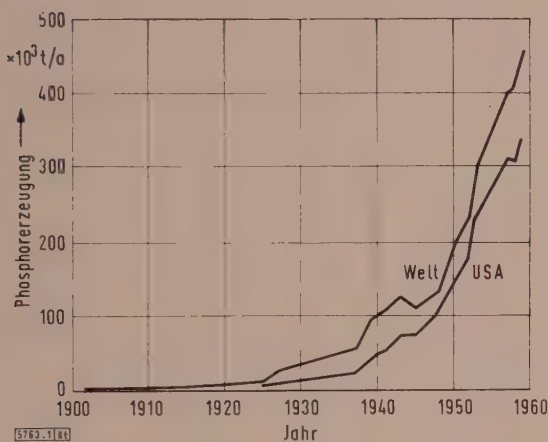


Bild 1. Erzeugung von gelbem Phosphor in den Jahren 1900 bis 1960.

Unter dem Einfluß der Stromwärme schmilzt man das Rohphosphat zusammen mit Kies und Koks, wobei der Kies zum Verschlacken des Kalkes, der Koks als Reduktionsmittel für das Phosphorpentoxid dienen. Die chemische Grundgleichung ist:



Der aus dem Ofen gasförmig entweichende Phosphor wird durch Abkühlen mit Wasser in den flüssigen Zustand überführt. Der größte Teil des erzeugten gelben Phosphors ist jedoch kein Endprodukt, sondern wird mit Luftsauerstoff zu Phosphorpentoxid verbrannt, das man unmittelbar mit Wasser zu Phosphorsäure umsetzt. Die Säure wiederum wird mit Alkalioxyden, Soda oder Natronlauge, zu Alkaliphosphaten verarbeitet, vorwiegend zum Natriumtripolyphosphat  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ , das ein Hauptbestandteil moderner Waschmittel ist.

Bild 1 gibt eine Übersicht über die Welterzeugung von gelbem Phosphor seit der Jahrhundertwende. 1959 wurden etwa 460 000 t gelben Phosphors hergestellt. Der derzeitige

westdeutsche Anteil beträgt etwa 8 % der Welterzeugung. Der steile Anstieg nach Kriegsende ist in erster Linie durch die Verwendung von kondensierten Phosphaten in Waschmitteln bedingt. Man schätzt, daß mehr als die Hälfte der Weltproduktion von gelbem Phosphor zu Waschmittelposphaten verarbeitet wird. Wie die Darstellung zeigt, entfallen etwa zwei Drittel der Welterzeugung auf die USA. Außerhalb des nordamerikanischen Kontinents wird Phosphor nur noch in Europa, in kleinem Umfang noch in Australien und Japan hergestellt. In der Bundesrepublik ist der einzige Erzeuger die Knapsack-Griesheim-AG in Knapsack bei Köln.

Zum Herstellen von gelbem Phosphor im elektrischen Widerstandsöfen wird außerordentlich viel Strom benötigt. Der Energieverbrauch beträgt, je nach Art der verwendeten Rohstoffe, der Ofengröße und der Verfahrenstechnik, 12 bis 17 kWh/kg Phosphor. Für einen Ofen mittlerer Größe und kalziniertes Phosphat kann man mit etwa 13 kWh/kg Phosphor rechnen. Der Stromaufwand liegt damit in einer ähnlichen Größenordnung wie der für Aluminium- und Magnesium-Elektrolysen, wo etwa 17 bis 18 kWh je kg Metall verbraucht werden.

Deutschland besitzt keine Rohphosphatvorkommen von nennenswerter Bedeutung. Alle Erze müssen importiert werden. Meist baut man eine Phosphorfabrik wegen der großen zu verarbeitenden Rohstoffmengen in der unmittelbaren Nachbarschaft von Rohphosphat-Lagerstätten; in Deutschland dagegen war man gezwungen, die Phosphorfabrik in der Nähe eines großen Kraftwerkes zu errichten.

## Historische Entwicklung

Die ersten elektrischen Phosphoröfen wurden Ende des vorigen Jahrhunderts in England und Kanada entwickelt. Dabei handelte es sich um Ofen mit Lichtbogenheizung oder indirekter Widerstandserhitzung. Die ebenfalls Ende des letzten Jahrhunderts in England und Deutschland entwickelten Gleichstrom-, später Wechselstrom-Ofen mit einer feststehenden senkrechten Kohlelektrode, die mit unmittelbarer Widerstandserhitzung arbeiteten, nahmen 100 bis 150 kW auf. Bis 1925 konnte die Leistung in solchen Ofen mit einer beweglichen Elektrode bis auf 400 kW gesteigert werden. 1925 baute die IG-Farbenindustrie in Bitterfeld den ersten Drehstrom-Ofen mit einer Leistungsaufnahme von 3 MW. 1927 wurden in Piesteritz an der Elbe vier Drehstrom-Ofen mit je 10 MW erstellt [1]. Piesteritz war jahrelang die größte Phosphorfabrik der Welt. Nach Kriegsende wurde sie vollständig demontiert.

Während in Deutschland schon frühzeitig der gelbe Phosphor ausschließlich im elektrischen Widerstandsöfen hergestellt wurde, benutzte man in Amerika in den zwanziger Jahren auch das Hochofenverfahren. Hierbei wird die zur Reaktion notwendige Wärme wie bei einem Stahl-Hochofen durch Verbrennen von Kohlenstoff erzeugt. Das Verfahren wurde jedoch zugunsten des elektrothermischen Prozesses aufgegeben.

Die westdeutsche Erzeugung wurde 1953 mit einem 10-MW-Ofen aufgenommen, dessen Leistung im Laufe der letzten Jahre bis auf 27 MW gesteigert wurde. 1956 nahm man den zweiten Knapsacker Phosphor-Ofen mit einer Leistung von 50 MW in Betrieb. Ein dritter Ofen mit höherer Leistung ist im Bau, weil die beiden vorhandenen Einheiten dem gesteigerten Bedarf nicht mehr gerecht werden können.

Allgemein neigt man zum Bau von immer größeren Ofeneinheiten, die in der Investition, der Bedienung und den Wärmeverlusten wirtschaftlicher sind als kleinere Einheiten. So haben von den 34 amerikanischen Phosphoröfen 20 eine Leistungsaufnahme von 20 bis 40 MW. Die zur Zeit größte Einheit ist der Knapsacker Ofen mit 50 MW.

\*) Dr. G. Breil ist Chemiker in der Knapsack-Griesheim AG, Knapsack bei Köln, Dipl.-Ing. K. Schlosser ist Abteilungsleiter der Brown Boveri AG, Mannheim.



### Das Gewinnungsverfahren

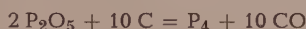
Als Rohstoff für die Gewinnung von gelbem Phosphor dienen Mineralphosphate, Koks und Kies. Die meisten auf der Welt gewonnenen Rohphosphate sind von sandiger oder staubiger Beschaffenheit und daher für Verwendung im elektrischen Ofen unbrauchbar. Sie werden in einer Sinteranlage verformt, gegläht und so in eine stückige Form übergeführt. Die zum Erzeugen von gelbem Phosphor benötigten Rohstoffmengen hängen stark von deren Zusammensetzung ab. Bei Verwendung von kalziniertem, amerikanischem Floridaphosphat benötigt man für 1 t gelben Phosphors folgende Mengen:

8000 kg Rohphosphat mit 31 %  $P_2O_5$ ,  
2800 kg Kies mit 97 %  $SiO_2$ ,  
1250 kg Koks mit 90 % festem Kohlenstoff,  
45 kg Söderberg-Elektrodenmasse.

Es sind also mehr als 12 t Rohstoff für eine Tonne Phosphor erforderlich [2].

Die getrennt gelagerten Rohstoffe werden vor dem Einbringen in den Ofen annähernd in dem sich aus der chemischen Grundgleichung ergebenden Verhältnis verwogen und gemischt, um eine möglichst homogene Zusammensetzung des Möllers zu erreichen. Die Rohstoffmischung schmilzt unter dem Einfluß der Stromwärme. Der im Rohphosphat enthaltene Kalk wird mit der Kieselsäure verschlackt und als flüssiges Kalziummetasilikat bei einer Temperatur von 1400 bis 1500 °C abgestochen. Das mit den Rohstoffen eingeschleppte Eisenoxyd wird wie in einem Hochofen mit Kohlenstoff zu metallischem Eisen reduziert, das je nach Verfahrensführung etwa 16 bis 28 % Phosphor aufnimmt und nach Bedarf diskontinuierlich abgestochen wird. Diese Legierung mit etwa 65 bis 70 % Eisen und wechselnden Mengen anderer Metalle nennt man Ferrophosphor. Er wird bei der Eisenerzverarbeitung, zum Herstellen von phosphorreichen Legierungen oder zum Anreichern der als Düngemittel bekannten Thomasschlacke mit Phosphorpentoxyd verwendet.

Der nach der Gleichung



aus dem Ofen gasförmig entweichende Phosphor strömt zusammen mit den beträchtlichen Mengen Kohlenoxyd in ein Elektrofiltersystem, in dem der teils mechanisch mitgerissene, teils durch chemische Sekundär-Reaktionen entstandene Staub abgeschieden wird. Die im wesentlichen aus gasförmigem Phosphor und Kohlenoxyd bestehenden Gase werden in einem Kondensationsystem getrennt. Der leicht kondensierbare gelbe Phosphor vom Siedepunkt 280 °C und

Schmelzpunkt 44 °C wird verflüssigt und der weiteren Verwendung zugeführt. Das von Phosphor befreite Kohlenoxyd benutzt man zum Aufbereiten des Rohphosphates in der Sinteranlage und zum Heizen im eigenen Betrieb.

Bild 2 zeigt das Schema einer Ofen-Einheit. Sie setzt sich aus drei Apparategruppen zusammen, aus

- a) dem Ofen mit Begichtung, Elektroden, Transformatoren, Schlacken- und Eisenabstichlöchern sowie den Gasaustrittsöffnungen,
- b) dem Elektrofilter mit Heizung und Staubkammern und
- c) der Kondensation mit Sammelgefäßen für den erzeugten Phosphor und aus Gebläsen zum Fortleiten des Kohlenoxys.

Der Ofen besteht aus einer eisernen Wanne, die innen mit starken Kohleblöcken 6, in der oberen Hälfte mit feuerfesten Steinen 7 ausgemauert ist. Durch den wassergekühlten Deckel aus antimagnetischem Stahl, der den gasdichten Abschluß bildet, werden in Stopfbüchsen die Elektroden 9 mit ihren Fassungen geführt. Der elektrische Strom wird im Gasraum des Ofens über wassergekühlte Kontaktplatten an die Elektroden geleitet. Der Ofen wird über die Zwischenbunker 1, die mit Stickstoff gespült werden und als Gas-schleusen dienen, kontinuierlich mit der Rohstoffmischung beschickt. Im Kohleblock des Schlackenabstichs sitzen wassergekühlte Kupferdüsen. Man sticht die Schlacke bei großen Ofeneinheiten kontinuierlich, bei Einheiten mittlerer Größe etwa stündlich ab. Die Schlacke wird meist unmittelbar am Ofen mit Wasser granuliert und stellt im allgemeinen ein wertloses Abfallprodukt dar. Der ebenfalls flüssig abgestochene Ferrophosphor läuft aus dem Ofen in eine Masselgießmaschine oder in ein Sandbett und wird nach dem Erkalten zerschlagen.

Je Tonne gelben Phosphors entstehen bei Verwendung des oben erwähnten amerikanischen Floridaphosphates

7700 kg Schlacke mit 90 %  $CaSiO_3$ ,  
150 kg Ferrophosphor mit 20 % P,  
100 kg Elektrofilterstaub mit 18 %  $P_2O_5$   
und 2500 m<sup>3</sup> Abgas mit 85 % CO.

Die mit Staub beladenen, aus gasförmigem Phosphor und Kohlenoxyd bestehenden Abgase verlassen unter eigenem Druck den Ofen mit einer Temperatur von 250 bis 400 °C und werden in dem elektrostatischen Gasreinigungssystem (Elektrofilter) vom Staub befreit. Die sogenannten Cottrellkammern werden beheizt, damit kein Phosphor kondensiert und nur der Staub abgeschieden wird. Dieser wird im allgemeinen über die Sinteranlage in den Prozeß zurückgegeben. Jede Ofeneinheit hat vier Elektrofilter, von denen je zwei hintereinander geschaltet sind, damit der Staub möglichst vollständig abgeschieden wird.

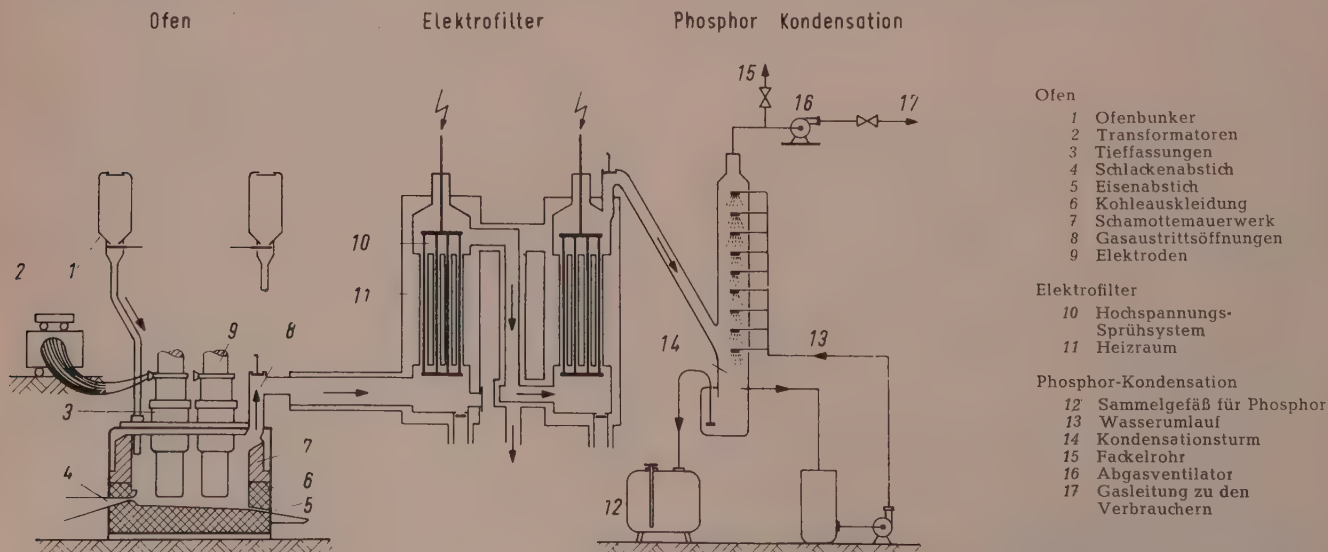


Bild 2. Schema einer Ofeneinheit zum Erzeugen von gelbem Phosphor.



Die noch etwa 250 °C heißen Gase durchströmen dann das Kondensationssystem, wo sie in Türmen 14 oder Wäschern durch feinverteiltes, umlaufendes Wasser auf 50 bis 60 °C abgekühlt werden. Infolge seines hohen spezifischen Gewichtes von 1,7 setzt sich der in Wasser unlösliche Phosphor schnell ab. Der abtropfende, flüssige gelbe Phosphor wird gesammelt, periodisch in beheizte Lagergefäße gepumpt und hier in flüssigem Zustand unter Wasser aufbewahrt. Das Kohlenoxyd wird teilweise abgefackelt, teilweise mit einem Gebläse zu Verbrauchern gedrückt.

Die Phosphor-Ausbeute liegt, je nach Rohstoff und Gewinnungsverfahren, bei 90 bis 94 %, bezogen auf den in den Ofen eingebrachten Rohstoff. Je 2 bis 4 % des Phosphors gehen mit der Schlacke und dem Ferrophosphor, 1 bis 2 % mit dem Kondensationswasser oder als dampfförmiger Phosphor und Phosphorwasserstoff mit dem Abgas verloren.

Der spezifische Stromaufwand hängt stark von der Zusammensetzung des Rohstoffs, insbesondere des Rohphosphates, ab. Bei etwa 13 kWh/kg Phosphor erzeugt ein Ofen mittlerer Größe von 25 MW täglich etwa 40 bis 45 t Phosphor.

Für die Elektroden verwendet man in Deutschland die aus Koks, Anthrazit und kohlenstoffhaltigen Bindemitteln bestehende Söderbergmasse. Die Komponenten werden heiß gemischt und bei einer Temperatur von etwa 120 bis 140 °C in den eisernen, mit Lamellen versehenen Elektrodenmantel eingebracht.

Vor der Inbetriebnahme eines mit solchen Elektroden ausgestatteten Phosphor-Ofens müssen diese zunächst gebrannt werden. Hierzu setzt man sie auf ein auf dem Ofenboden aufgeschichtetes Koksbedt auf und belastet sie im Laufe von 1 bis 2 Tagen stufenweise von 0,1 A/cm<sup>2</sup> Elektrodenfläche bis auf 3 bis 4 A/cm<sup>2</sup> unter gleichzeitiger Steigerung der Sekundärspannung. Unter dem Einfluß der Stromwärme verkracken die Bindemittel.

Die im Betrieb verbrauchte Elektrode wird nach Bedarf durch Aufschweißen von eisernen Mänteln und Einbringen von „grüner“ Söderbergmasse nach oben verlängert, während der Abbrand im Ofen in kleinen Intervallen diskontinuierlich ergänzt wird. Die praktisch endlose Elektrode wird so während des Ofenprozesses fortlaufend unter dem Einfluß der Stromwärme gebrannt. Im Betrieb liegt die Stromdichte der Söderberg-Elektroden zwischen 3 und 4 A/cm<sup>2</sup>. In den USA verwendet man meist vorgebrannte Elektroden aus Graphit, Kohle oder graphitierter Kohle, die in Stücken von 2 bis 3 m Länge mit Nippeln aufeinander geschraubt werden.

Der größte Teil des erzeugten gelben Phosphors wird mit Luftsauerstoff oxydiert und unter Zusatz von Wasser auf Phosphorsäure verarbeitet, die üblicherweise 75 bis 85 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> enthält. Ein geringer Teil wird in roten Phosphor, die thermodynamisch stabilere Modifikation des Phosphors, umgewandelt. Dieser wird vor allem für die Anstrichflächen bei Streichholzschachteln verwendet. Während gelber Phosphor ein starkes Gift ist, ist roter Phosphor ungiftig. Weitere Mengen von gelbem Phosphor werden auf andere Phosphorverbindungen verarbeitet, insbesondere solche mit Chlor oder Schwefel, die als Phosphor-Überträger zum Erzeugen von organischen Verbindungen, wie z. B. Schädlings-Bekämpfungsmittel oder Weichmacher, dienen.

### Die elektrischen Einrichtungen

Wie schon erwähnt, wurde aus wirtschaftlichen Gründen in Deutschland der Ort der Phosphor-Erzeugung in die Nähe eines großen Kraftwerkes gelegt. Dieses verlangt von einem Verbraucher solcher Größe eine symmetrische Belastung des Drehstromanschlusses. Drei Wechselstrom-Ofen bringen eine gewisse Unsicherheit in der Erfüllung dieser Forderung, weil ein gleichmäßiges Arbeiten der drei Ofen schwer zu erreichen ist.

- 1 Ofen
- 2 Elektroden
- 3 Transformatoren
- 4 Zuleitungen

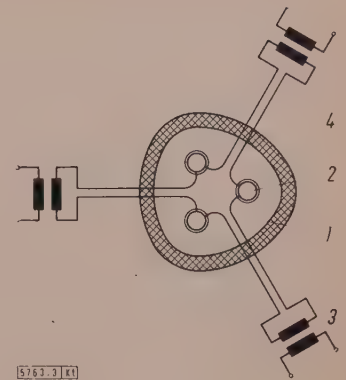


Bild 3. Grundriß eines Phosphor-Ofens mit Transformatoren-Aufstellung.

Der Drehstrom-Ofen mit einem einzigen Schmelzkessel verdient also den Vorzug und wird seit vielen Jahren ausschließlich verwendet, zumal größere Ofenleistungen einen besseren Wirkungsgrad bringen. Hier muß wieder in der Konstruktion des Ofens selbst (Bild 3), der Anordnung der Elektroden und der Aufstellung des oder der erforderlichen Transformatoren alles getan werden, um eine größtmögliche Symmetrie zu erreichen; denn neben der eigentlichen Größe des elektrischen Widerstandes des Möllers, in dem die elektrische Energie in Wärme verwandelt wird, sind die wirksamen Induktivitäten von Transformator und Zuleitungen entscheidend für die Größe und Phasenlage der Ströme. Ein symmetrischer Aufbau der gesamten Anlage mit möglichst kleinen und gleichen Reaktanzen ist daher anzustreben. Er wird in der „Knapsack-Schaltung“ [3, 4] erreicht.

Wie aus Bild 3 hervorgeht, sind die Elektroden in einem gleichseitigen Dreieck angeordnet und werden von drei Einphasen-Transformatoren, die räumlich symmetrisch aufgestellt sind, gespeist. Die Induktivitäten der Verbindungsleitungen Transformator—Elektrode werden auf diese Weise nicht nur gleich groß, sondern auch, weil Hin- und Rückleitung des gleichen Stromes eng nebeneinander geführt werden, sehr klein; natürlich werden die Transformatoren möglichst in Ofennähe aufgestellt.

Die Wahl von drei Einphasen-Transformatoren bringt nicht nur die gewünschte Symmetrie, die bei einem Drehstrom-Transformator nicht möglich wäre, sondern auch den Vorteil der billigeren Reserve. Auch kann bei Verwendung der Knapsack-Schaltung und bei gleichzeitiger Dreieck-Schaltung der Primärwicklungen bei Ausfall eines Transformators mit der „V-Schaltung“ eine symmetrische Netzbelastung weiterhin aufrechterhalten werden. Die beiden restlichen Transformatoren werden dabei allerdings überlastet, so daß die Ofenleistung vermindert werden muß.

Aber noch andere rein technische Gründe machen eine Leistungssteuerung erforderlich. Bei anzustrebender konstanter Dauerbelastung ist eine Anpassung an die sich ändernden Ofenwiderstände notwendig. Ferner ist bei Inbetriebnahme des Ofens oder beim Wiederanfahren eine stark verminderte Leistung erwünscht.

Von ebenso großer Bedeutung wie diese technischen Belange ist die Leistungsregelung auch in wirtschaftlicher Hinsicht. Sie trägt entscheidend, neben anderen Fortschritten auf dem verfahrenstechnischen Gebiet, zur Wirtschaftlichkeit des Prozesses bei. Der sehr stromintensive Betrieb verlangt eine Anpassung an die gesamte elektrische Energieversorgung des Netzes, d. h. die Schwachlastzeiten müssen ausgenutzt werden; es wird also in erster Linie nachts mit voller Leistung gearbeitet. Auf diese Weise trägt die Phosphor-Erzeugung wesentlich zu einer gleichmäßigen Grundlast des elektrischen Kraftwerkes bei und erhält als Gegenleistung einen „billigeren Nachtstrom“.

Die Leistung kann durch zwei Maßnahmen gesteuert werden: Einmal durch Verändern der Eintauchtiefe der



Söderberg-Elektroden und zum anderen durch Wechseln der Sekundärspannung. Eine seit vielen Jahren bewährte Automatik sorgt hierbei für konstanten Sekundärstrom der Transformatoren selbst; Steuergröße ist nicht der Sekundärstrom, sondern ein ihm gleichwertiger Strom der Primärseite oder eines Zwischenkreises, je nach Aufbau und Schaltung der Transformatoren-Einheit.

### Die Schaltung der Transformatoren

Die Sekundärspannung kann, je nachdem, in welchen Grenzen sie geändert werden soll, auf verschiedene Weise geregelt werden. Eine Veränderung der Windungszahl der Sekundärseite, die bei gleich großen Stufen eine lineare Spannungssenkung ergeben würde, scheidet wegen der hohen Stromstärken aus. Bei konstanter Netzspannung muß daher die Spannung der Sekundärseite indirekt geändert werden. Verschiedene Schaltungen sind möglich und wurden zum Teil ausgeführt.

Die einfachste Lösung liegt vor, wenn die Windungszahl der Primärseite mit Hilfe einer Stufenwicklung vergrößert wird. Der erste Knapsacker Phosphor-Ofen wird so betrieben. Die Windungszahl wird unter Last mit einem Stufenschalter eingestellt (Bild 4a). Bei Stufenwicklungen mit gleicher Windungszahl je Stufe ist die Spannungsänderung auf der Sekundärseite anfangs groß und wird allmählich immer kleiner und unwirksamer. Da der Strom der Sekundärseite automatisch konstant gehalten wird, ändert sich mit der Sekundärspannung proportional auch die Leistung.

Um einen sekundären Regelbereich von 2:1 zu erreichen, müßte die wirksame Windungsspannung bereits verdoppelt werden, was bei hohen Primärspannungen von etwa 110 kV, zu großen Anforderungen an den Stufenschalter führt. Auch bei Zu- und Gegenschaltung, wie in Bild 4a angedeutet, oder bei Verwendung mehrerer Grobstufen, wie in Bild 4b, wird die Konstruktion von Wähler und Lastschalter nicht einfacher. Da andererseits noch größere Spannungsbereiche als 2:1 erwünscht sind und die Spannungsstufen möglichst gleich sein sollen, müssen andere Wege eingeschlagen werden, um dieses Ziel zu erreichen.

Man kann beispielsweise den Ofentransformator mit einer festen Übersetzung ausstatten und die Primärspannung im Verhältnis der gewünschten Ofenspannung ändern. Da die zur Verfügung stehende Netzspannung konstant ist, sind zusätzliche Transformatoren erforderlich. In einem Zusatztransformator (Bild 5a) wird eine Spannung erzeugt, die in Stufen einstellbar ist und deren Vektor in Phase oder Gegenphase mit der Netzspannung liegt. Die Erregerwicklung dieses Zusatztransformators versorgt ein Spartransformator Sp, der am Netz angeschlossen ist. Seine Wicklung setzt sich aus gleich großen Stufen zusammen. Die Erregerwicklung des Zusatztransformators ZT kann so, je nach Wählerstellung, mit einer Spannung  $U_E$  zwischen Null und der Netzspannung beaufschlagt werden. Die Windungszahl der Zusatzwicklung richtet sich nach jener Spannung  $U_{Z1}$ , die höchstens zugefügt (Bild 5a) oder (Bild 5b) zugefügt oder abgezogen werden soll.

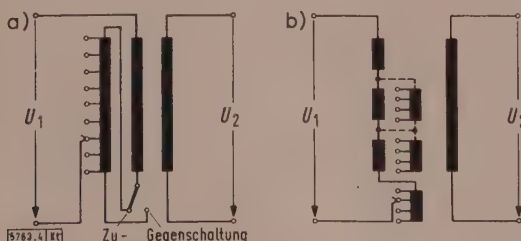


Bild 4. Änderung der Sekundärspannung  $U_2$  durch eine Stufenwicklung auf der Primärseite.

- a) durch die Zu- und Gegenschaltung einer Stufenwicklung,  
b) durch mehrmaliges Umlenken einer Stufenwicklung.

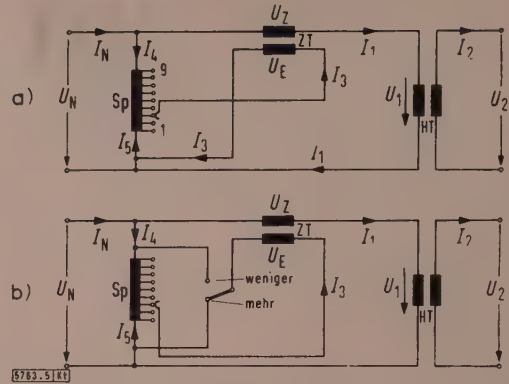


Bild 5. Änderung der Sekundärspannung  $U_2$  durch Änderung der Primärspannung  $U_1$  bei konstanter Netzspannung  $U_N$

- a) durch Zuschaltung auf der Primärseite

HT Haupttransformator

$U_2 = 200 \dots 600 \text{ V}$ ;  $U_1 = 6 \dots 18 \text{ kV}$ ;  $I_2 = 30 \text{ kA} = \text{konst.}$ ;

$I_1 = 1 \text{ kA} = \text{konst.}$ ;  $P_H = 18 \text{ MVA}$

ZT Zusatztransformator

$U_{Z\text{max}} = 12 \text{ kV}$ ;  $U_{E\text{max}} = 6 \text{ kV}$ ;  $I_3 = 2 \text{ kA} = \text{konst.}$ ;  $P_Z = 12 \text{ MVA}$

Sp Spartransformator

$I_4$  veränderlich zwischen 0 A und 2 kA;  $I_5 = I_3 - I_4$  veränderlich

zwischen 2 kA und 0 A;  $P_D = 12 \text{ MVA}$ ;  $P_{E\text{max}} = 3 \text{ MVA}$

Netzspannung  $U_N = 6 \text{ kV}$ ; Netzstrom  $I_N$  schwankt zwischen 1 und 3 kA

- b) durch Zu- und Gegenschaltung auf der Primärseite

HT Haupttransformator

$U_2 = 200 \dots 600 \text{ V}$ ;  $U_1 = 3 \dots 9 \text{ kV}$ ;  $I_2 = 30 \text{ kA} = \text{konst.}$ ;  $I_1 = 2 \text{ kA}$ ;

$P_H = 18 \text{ MVA}$

ZT Zusatztransformator

$U_{Z\text{max}} = 3 \text{ kV}$ ;  $U_{E\text{max}} = 6 \text{ kV}$ ;  $I_3 = 1 \text{ kA} = \text{konst.}$ ;  $P_Z = 6 \text{ MVA}$

Sp Spartransformator

$I_4$  = veränderlich zwischen 0 A und  $\pm 1 \text{ kA}$ ;  $I_5 = I_3 - I_4$  veränderlich

zwischen  $\pm 1 \text{ kA}$  und 0 A;  $P_D = 6 \text{ MVA}$ ;  $P_{E\text{max}} = 1,5 \text{ MVA}$

Netzspannung  $U_N = 6 \text{ kV}$ ; Netzstrom  $I_N$  schwankt zwischen 1 und 3 kA

Um die Unterschiede beider Schaltungen besser zu erläutern, seien an einem Beispiel die wesentlichen Daten gegenübergestellt. Es betrifft einen Groß-Ofen mit dem Aufbau nach Bild 3, der von drei Einphasen-Transformatoren gespeist wird. Der Sekundärstrom  $I_2$  einer Transformatoreinheit betrage 30 kA, und die Sekundärspannung sei im Bereich von 200 bis 600 V einstellbar. Die Durchgangsleistung  $P_D$  einer Wechselstromeinheit beträgt somit 18 MVA und die der Drehstrombank 54 MVA. Eine in der Nähe befindliche Zentrale stelle einen Netzanschluß mit 6 kV zur Verfügung.

Im Falle des Bildes 5a steht der Stufenschalter S auf Stellung 1, wenn die niedrigste Leerlaufspannung von 200 V verlangt wird. Der Zusatztransformator ZT ist auf der Erregerseite  $U_E$  kurzgeschlossen; in der Zusatzwicklung  $U_Z$  wird keine Spannung induziert, und die Primärspannung  $U_1$  des Haupttransformators HT ist gleich der Netzspannung  $U_N$ . Der Zusatztransformator ZT macht sich auf dieser Stellung bei Belastung lediglich mit seiner Kurzschlußreaktanz bemerkbar, deren Einfluß noch besprochen wird. Im Spartransformator Sp selbst fließt kein Strom.

Sollen 600 V Leerlaufspannung erreicht werden, muß die Spannung  $U_1$  auf den 3-fachen Wert, auf 18 000 V, ansteigen. In der Zusatzwicklung  $U_Z$  müssen 12 000 V induziert werden, die zusammen mit der Netzspannung diesen Wert ergeben. Die hier auftretenden Spannungen sind für die Bemessung der größten Induktionen in Haupt- und Zusatztransformator maßgebend.

Die Ströme  $I_1$  und  $I_3$  bleiben, ebenso wie  $I_2$ , auf allen Stellungen gleich groß, da ja  $I_2$  durch Nachregeln der Elektroden konstant gehalten wird. Bei steigender Spannung  $U_2$  muß somit auch der Ofenwiderstand größer werden; die Elektroden werden gehoben. Der Strom  $I_4$ , den der Spartransformator Sp aufnimmt, ist der einzige Strom, der von Stufe zu Stufe — ausgehend von 200 V sekundärseitig — gleichmäßig zunimmt und von Null bis auf  $I_3 = 2 \text{ kA}$  bei Stellung 600 V ansteigt.



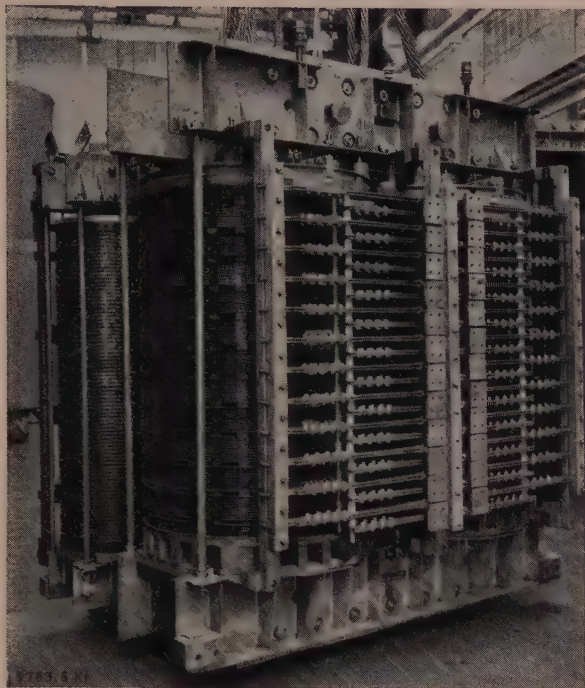


Bild 6. Aktiver Teil eines Transformatoren-Aggregates von rd. 17 MVA Durchgangsleistung.

Die Summe aus  $I_1$  und  $I_4$  ergibt den aus dem Netz entnommenen Strom  $I_N$ , der von 1 auf 3 kA steigt und ein Maß für die aufgenommene Leistung, also für die Durchgangsleistung des Aggregates, ist. Die Nenndaten der Transformatoren werden auf die Stufe für 600 V bezogen.

Im Falle des Bildes 5b wird von der Möglichkeit der Zu- und Gegenschaltung Gebrauch gemacht, die eine Reihe von Vorteilen bietet. Zunächst sei die Auslegung der Transformatoren hinsichtlich Strom und Spannung erläutert. An der Sekundärseite des Haupttransformators HT ändert sich nichts, wohl aber auf der Primärseite. Hier erhalten wir eine Mittelstellung, wenn eine Zusatzspannung  $U_Z$  weder zugefügt noch abgezogen wird. Dies muß bei der mittleren Sekundärspannung, also bei 400 V, der Fall sein; der Haupttransformator wird mit der Netzspannung  $U_N$  erregt. Der konstante Strom  $I_1$  in der Primärwicklung des Haupttransformators und der Zusatzwicklung  $U_Z$  beträgt jetzt 2 kA; dafür sinkt die größte Zusatzspannung  $U_Z$  auf 3 kV, da nunmehr der Haupttransformator HT nur noch zwischen 3 und 9 kV veränderlich sein muß, um die gewünschte

Sekundärspannung zu erzeugen. Aus den Spannungen am Zusatztransformator ZT und dem Strom  $I_1$  folgt  $I_3 = 1000$  A. Die größten Ströme  $I_4$  und  $I_5$  des Spartransformators gehen damit ebenfalls auf die Hälfte gegenüber der Schaltung in Bild 5a zurück.

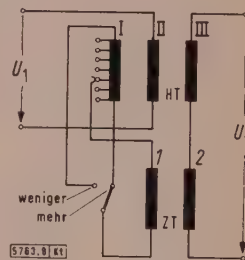
Der Vergleich beider Schaltungen zeigt, daß die Zu- und Gegenschaltung für die Hilfstransformatoren nur die Hälfte der installierten Leistung erfordert. Die größte Eigenleistung der Spartransformatoren Sp liegt vor, wenn der Schalter auf der mittleren Anzapfung der Wicklung steht. Dies kommt in Bild 5a einmal, bei Bild 5b zweimal vor. In beiden Wicklungszweigen fließt gerade die Hälfte von  $I_3$ , so daß die theoretisch größte Eigenleistung der Spartransformatoren jeweils ein Viertel ihrer Durchgangsleistung beträgt. Daß der Strom in den einzelnen Stufen von der mittleren nach der äußeren hin bis auf den vollen Wert ansteigt, sei hier nicht berücksichtigt. Die Summe der installierten Transformatorleistungen beträgt daher im Falle von Bild 5a 33 MVA, im Bild 5b nur 25,5 MVA bei einer Durchgangsleistung von 18 MVA für beide Schaltungen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Zu- und Gegenschaltung ist der kleinere Lastschalterstrom  $I_3$ . Dieser kann noch weiter verringert werden, wenn die Stufenwicklung des Spartransformators und damit auch die Erregerwicklung des Zusatztransformators für eine höhere als die Netzspannung ausgelegt wird. Für die Differenzspannung wäre dann noch eine weitere zusätzliche Wicklung im Spartransformator vorzusehen.

Die drei Transformatoren nach Bild 5b, die zusammen eine Einphaseneinheit bilden, werden in einem Kessel untergebracht. Der aktive Teil mit dem Haupttransformator im Vordergrund ist in Bild 6 zu sehen.

Bild 7 gibt einen Blick auf einen Phosphor-Ofen oberhalb der Ofendecke mit Transformatoren, Elektroden, Materialbeschickungsrohren und Gasausgang.

Bild 8. Änderung der Sekundärspannung  $U_2$  durch Zu- und Gegenschaltung auf der Sekundärseite.

- |     |   |
|-----|---|
| HT  | Haupttransformator                              |
| I   | Stufenwicklung max 12 kV, 500 A, 6 MVA.         |
| II  | Primärwicklung 110 kV, 164 A, 18 MVA.           |
| III | Sekundärwicklung 400 V, 30 kA, 12 MVA.          |
| ZT  | Zusatztransformator                             |
| 1   | Erregerwicklung max $\pm 12$ kV, 500 A, 6 MVA.  |
| 2   | Sekundärwicklung max $\pm 200$ V, 30 kA, 6 MVA. |



Für noch größere Öfen ist es heute, wie bei allen Großverbrauchern, üblich, direkt auf 110 kV Speisespannung überzugehen. Die Hochspannung wird an die Transformatoren über Kabel angeschlossen. Die Unterspannungswicklung und damit der gesamte elektrische Ofenteil müssen allerdings gegen Überspannungen von der Oberspannungsseite her, seien sie kapazitive oder induktiver Art, geschützt werden. Kapazitive Einflüsse werden durch einen metallischen Schirm zwischen Ober- und Unterspannungswicklung verhindert, induktive werden weitgehend durch Dreieckschaltung und durch die Ofenwiderstände selbst unterdrückt.

Eine Grundsatzschaltung nach Bild 5b scheidet aus, weil alle drei Transformatoren für 110 kV und höher auszulegen wären. Die Schaltung nach Bild 8 ist vorteilhafter. Ein Einphasenaggregat besteht hier sogar nur aus zwei Transformatoren; allerdings haben beide eine Unterspannungswicklung, so daß sich alle nachteiligen Hochstromerscheinungen, wie Zusatzverluste, Kühlungsprobleme usw., verdoppeln. Andererseits enthält das ganze Aggregat nur eine Hochspannungswicklung, die zweckmäßig in der Mitte des als Dreiwicklungs-Transformator ausgelegten Haupttransformators angeordnet wird. Dessen Unterspannungswicklung wird, weil der Zusatztransformator ZT in Zu- und Gegenschaltung arbeitet, nur für die mittlere Unterspannung ausgelegt. Die Spannung der Stufenwick-



Bild 7. Blick auf einen Phosphor-Ofen oberhalb der Ofendecke.



lung I kann beliebig gewählt werden, zweckmäßigerweise so, daß passende Stromstärken für den Stufenschalter erreicht werden. Zum besseren Vergleich mit den früheren Beispielen wurden in Bild 8 die technischen Daten der Unterspannungswicklung beibehalten.

### Transformator-Reaktanzen

Im Zusammenhang mit dem Wirkungsgrad des Ofens wurde bereits erwähnt, daß die Induktivitäten der Zuleitungen klein gehalten werden müssen. Dies gilt natürlich auch für die Transformatorenaggregate. Auf die Frage nach der Größe der wirksamen Transformatorenreaktanz auf der Ofenseite und deren Veränderung innerhalb des sehr großen Regelbereiches soll für die Schaltungen nach Bild 4, 5b und 8 noch eingegangen werden. Allgemein berechnet man die hier maßgebliche Kurzschlußreaktanz aus der Kurzschlußspannung  $u_k$  nach der Gleichung

$$X_k = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{2n}}{I_{2n}} \quad (1)$$

Der Wert liegt, wenn man die Daten bei Nennleistung

$$\begin{aligned} \text{z. B. } u_k &= 6\% \\ U_{2n} &= 600 \text{ V} \\ I_{2n} &= 30\,000 \text{ A} \end{aligned}$$

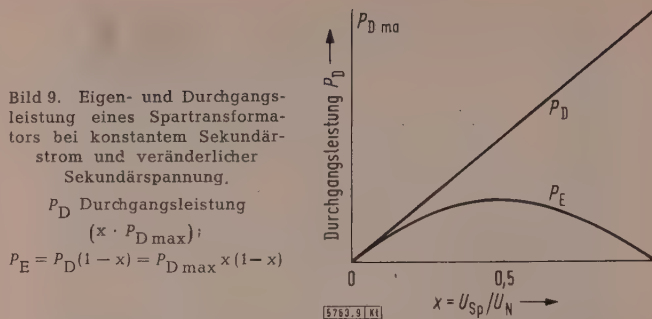
einsetzt, bei  $1,2 \cdot 10^{-3} \Omega$ . Mit fallender Sekundärspannung  $U_2$  und konstantem Ofenstrom steigt zwar die prozentuale Kurzschlußspannung, aber die Reaktanz  $X_2$  verändert sich wenig, da beide Größen —  $u_k$  und  $U_2$ , das an Stelle von  $U_{2n}$  in Gl. (1) tritt — sich gegenläufig und etwa gleichmäßig ändern.

Aus der Kenntnis des Transformatoren-Aufbaues kann man dies leicht übersehen. Allgemein gilt für die Reaktanz eines einfachen Zweiwicklungs-Transformators mit festen Windungszahlen die Gleichung

$$X_k = c w^2 A \quad (2)$$

worin  $c$  eine Konstante ist,  $w$  die Windungszahl derjenigen Transformatorseite, auf die sich die Rechnung bezieht — in unserem Falle also die feste Windungszahl der Sekundärseite — und  $A$  die magnetische Leitfähigkeit des reduzierten Streuspalt, eine ebenfalls konstante Größe. Im Beispiel des Bildes 4a möge die größte Zahl der zu- oder gegengeschalteten Windungen der Oberspannungsseite etwa 25% der Stammwicklung betragen. Diese sind entweder in einer getrennten Stufenwicklung im Schatten der Stammwicklung — vom Streuspalt aus gesehen — angeordnet oder bei Scheibenwicklungs-Anordnungen so verteilt, daß sie die Größe  $A$  nicht sehr beeinflussen. Daraus folgt, daß  $X_2$  für alle Stufen nur wenig schwankt und fast als konstant angesehen werden kann.

Für das Beispiel in Bild 5b folgt zunächst, daß die Reaktanz  $X_H$  des Haupttransformators auf der Ofenseite, berechnet nach Gl. (1), konstant bleibt, gleichgültig welche Spannung auf der Primärseite aufgedrückt wird. Hinzu kommt die Reaktanz des Zusatztransformators, die ebenfalls konstant und unabhängig von der Erregerspannung ist, da sich die Windungszahlen nicht ändern. Zu ihrer Bestimmung muß lediglich die Kurzschlußspannung, bezogen auf die maximale Eigenleistung, bekannt sein. Dieser Wert verringert sich noch im Verhältnis von Eigenleistung zu Durchgangsleistung des Aggregates, wobei letztere mit der Leistung des Haupttransformators übereinstimmt. Für die Berechnung legt man am besten die Daten bei Nennleistung, also bei der höchsten Sekundärspannung, zugrunde. Wenn hier die Kurzschlußspannung des Haupttransformators z. B. 5% beträgt und die des Zusatztransformators 6% bezogen auf Eigenleistung, dann vermindert sich der letztgenannte Wert auf 2%. Die Kurzschlußspannung für die Berechnung der wirksamen Ofenreaktanz nach Gl. (1) erhöht sich also wegen des Zusatztransformators von



5 auf 7%. Zu diesem konstanten Wert kommt nun noch ein sich durch die Stufeneinstellung ändernder Wert des Spartransformators hinzu.

Bei konstantem Sekundärstrom  $I_3$  (Bild 5b) wächst linear mit der Sekundärspannung  $U_{Sp}$  die Durchgangsleistung  $P_D$  des Spartransformators. Sie beträgt höchstens 6 MVA für  $x = 1$  (Bild 9), wobei  $x = U_{Sp}/U_N$  ist. Seine Eigenleistung ist in der Mittel- und in den Endstellungen des Aggregates Null und erreicht jeweils auf der mittleren Stufe ihren Höchstwert, der nur ein Viertel dieser größten Durchgangsleistung beträgt. Die Kurzschlußspannung  $u_{kE}$  betrage hier ebenfalls 6% und möge etwa proportional mit der Eigenleistung nach beiden Grenzstellungen hin fallen (Bild 10). Bezogen auf die Durchgangsleistungen des Spartransformators erhält man dann den in Bild 10 eingezeichneten Verlauf von  $u_{kD}$ . Der höchste Wert liegt

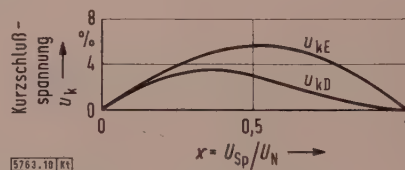


Bild 10. Verlauf der Kurzschlußspannungen eines Spartransformators mit konstantem Sekundärstrom in Abhängigkeit von der Schalterstellung.  
 $u_{kE} = c \cdot x \cdot (1-x)$ ;  $u_{kD} = c \cdot x \cdot (1-x)^2$ ;  $c = \text{konst.}$

demnach unter 4% und muß nun noch, genau so wie der des Zusatztransformators, im Verhältnis seiner jeweiligen Durchgangsleistung zu jener des ganzen Aggregates vermindert werden. Die wirksame Reaktanz des gesamten Transformator-Aggregates auf der Ofenseite hat dann den Verlauf nach Bild 11; sie ändert sich also über den Regelbereich nur wenig.

Eine ähnliche Feststellung können wir auch bei der Schaltung nach Bild 8 machen. Hier müssen zuerst die Reaktanzen der Ersatzschaltung des als Dreiwickler ausgeführten Haupttransformators bestimmt werden. Dazu benötigt man die Kurzschlußspannungen  $u_{12}$ ,  $u_{13}$  und  $u_{23}$  der drei möglichen Zweiwicklungsbetriebe, die auf gleiche Leistung zu beziehen sind. Die Leistungsabhängigkeit einer

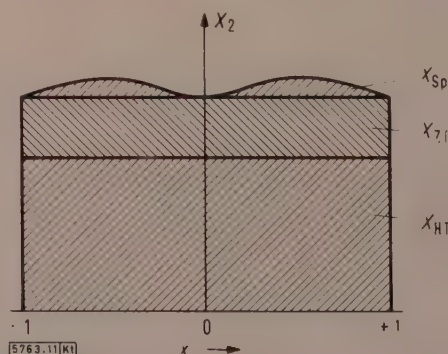


Bild 11. Schwankungen der Streureaktanz  $X_2$  auf der Sekundärseite eines Transformator-Aggregates nach Schaltung Bild 5b in Abhängigkeit von der Schalterstellung.

$X_H$  Anteil des Haupttransformators  
 $X_Z$  Anteil des Zusatztransformators  
 $X_{Sp}$  Anteil des Spartransformators



Kurzschlußspannung ist linear und direkt proportional. Aus diesen Werten folgen nach der Theorie des Dreiwicklungs-Transformators die Größen

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{1}{2} (u_{12} + u_{13} - u_{23}) \\ u_2 &= \frac{1}{2} (u_{12} + u_{23} - u_{13}) \\ u_3 &= \frac{1}{2} (u_{13} + u_{23} - u_{12}) \end{aligned} \quad (3)$$

die sofort zu den Reaktanzen  $X_I$ ,  $X_{II}$  und  $X_{III}$  der Ersatzschaltung führen, wenn sie in Gl. (1) an Stelle von  $u_k$  gesetzt werden. Für  $U_{2n}$  ist die Nennspannung der Ofenwicklung des Haupttransformators — also 400 V — und für  $I_{2n}$  ihr Nennstrom einzusetzen. Die Reaktanz  $X_Z$  des Zusatztransformators auf der Ofenseite ist mit Hilfe dessen Daten gemäß Gl. (1) leicht zu bestimmen. Die Reaktanz des gesamten Aggregates folgt dann aus der Gleichung

$$X_2 = X_{III} + X_Z + X_I r^2 x^2 + X_{II} (1 \pm r x)^2 \quad (4)$$

wenn  $r$  das Verhältnis der Sekundärspannungen von Zusatz- und Haupttransformator in den Endstellungen ist. In dem Beispiel wird  $r = 200 \text{ V}/400 \text{ V} = 0,5$ ;  $x$  bedeutet das Verhältnis der jeweils eingestellten Spannung zur Höchstspannung der Stufenwicklung. Dabei wurde wieder angenommen, daß die geometrischen Abmessungen der Stufenwicklung bei Benutzung der einzelnen Stufen im Hinblick auf die Berechnung der Kurzschlußspannungen ohne entscheidenden Einfluß sind. Auf der Mittelschaltung wird

$$\begin{aligned} x &= 0 \text{ und} \\ X_2 &= X_{III} + X_Z + X_{II}. \end{aligned} \quad (4a)$$

Die Reaktanz  $X_{II}$  der mittleren Wicklung des Haupttransformators wird bei der gewählten Anordnung sehr klein und meist negativ ausfallen. Außerdem stellt die Summe aus  $X_{II}$  und  $X_{III}$  nichts anderes als die Kurzschlußreaktanz zwischen der Primärwicklung II und der Ofenwicklung III des Haupttransformators dar. Da in diesem Falle die Erregerwicklung des Zusatztransformators durch den Schalter kurzgeschlossen wird, liegt im Sekundärkreis in Übereinstimmung mit Gl. (4a) noch zusätzlich die Reaktanz  $X_Z$ . In Gl. (4) gilt das positive Vorzeichen im Klammerausdruck des Faktors von  $X_{II}$  bei Zu- und das negative bei Gegenschaltung. Die Reaktanz des ganzen Aggregates ändert sich über den gesamten Regelbereich somit nach Bild 12.

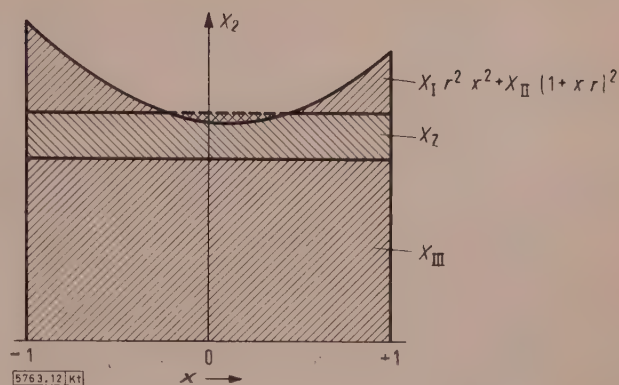


Bild 12. Schwankungen der Streureaktanz  $X_2$  auf der Sekundärseite eines Transformator-Aggregates nach Bild 8 in Abhängigkeit von der Schalterstellung.

$$\begin{aligned} X_2 &= X_{III} + X_Z + X_I r^2 x^2 + X_{II} (1 + r x)^2 \\ x &= \pm \frac{\text{eingestellte Spannung der Stufenwicklung}}{\text{Höchstspannung der Stufenwicklung}} \end{aligned}$$

Bei allen drei besprochenen Schaltungen kommt man etwa zum gleichen Ergebnis: Trotz mehrerer Transformatoren in Zu- und Gegenschaltung und der großen Regelbereiche stellen die Transformatoren eine nur wenig schwankende Reaktanz im Ofenkreis dar, die etwa in der Größenordnung der Zuleitungen liegt.

### Zusammenfassung

Nach einer kurzen Erläuterung der Gewinnung von gelbem Phosphor wird die Verfahrenstechnik einer modernen Ofenanlage beschrieben. Die grundsätzlichen Schaltungen der Transformatoren und deren veränderliche Reaktanz werden behandelt, wenn die Ofenspannung in weiten Grenzen verstellt wird. Die Wirtschaftlichkeit der sehr stromintensiven Phosphorgewinnung führt zu großen Ofeneinheiten, die von Transformatoren mit Primärspannungen von 110 kV gespeist werden. Die hierfür zweckmäßigste Schaltung bringt zwar größere, aber noch erträgliche Schwankungen der Sekundärreaktanz mit sich.

### Schrifttum

- [1] Ritter, F.: Die Produktion von Phosphor und Phosphorsäure in Piestritz. Chemie-Ing.-Techn. Bd. 22 (1950) S. 252–272.
- [2] Pirani, M.: Elektrothermie, 2. Auflage. Springer-Verlag 1960, S. 234 bis 239.
- [3] DRP 545 696 (1925).
- [4] Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie, 5. Band, S. 13–19.

## Der Wärmedurchschlag von Epoxydharz

DK 621.315.616.96 : 621.317.333.6

Der Aufsatz<sup>1)</sup> ist ein Auszug aus einer größeren experimentellen Arbeit über den Wärmedurchschlag von Epoxydharzen, die im Institut für Hochspannungstechnik der TH Dresden gemacht worden ist. Es wird über Versuche berichtet, in denen die elektrische Durchschlagfestigkeit eines heißhärtenden Epoxydharzes im Gebiet des Wärmedurchschlages in Abhängigkeit von der Versuchstemperatur nach dem Verfahren von Halbach [Arch. Elektr. Bd. 21 (1929) S. 535–563] bestimmt wurde. Untersucht wurden das reine Harz (Epilox EG 1), sowie Harz-Quarzmehlmischungen mit 50, 100 und 200 % Quarzmehlanteil.

Nach dem von Halbach entwickelten Verfahren zum Ermitteln der Durchschlag-Wechselspannung im Bereich des Wärmedurchschlages wird der zeitliche Verlauf des Verlustfaktors bei jeweils konstanter Elektrodenspannung beobachtet. Unterhalb des Wärmekippens strebt der Verlustfaktor einem Endwert zu. Der Beginn des Wärmekippens ist daran zu erkennen, daß der Verlustfaktor zeitlich überlinear anwächst. Die niedrigste Spannung, bei der dies gerade noch geschieht, ist die sogenannte Kippspannung. Sie führt nach einiger Zeit zum Durchschlag und kann somit als

Durchschlagspannung bei den betreffenden Versuchsbedingungen angesehen werden. Wenn die Spannung jedesmal abgeschaltet wird, sobald das überlineare Anwachsen des Verlustfaktors erkennbar wird, kann man somit die Durchschlagspannung ermitteln, ohne daß der Prüfling zerstört wird.

Als Elektroden wurden Graphitüberzüge in der Anordnung Kugel—Platte mit 2 cm Kugeldurchmesser und 1 mm Schlagweite verwendet. Der Prüfling befand sich in einem Ölbad mit Temperaturregelung. Die Untersuchungsergebnisse sind in einem Diagramm dargestellt, das die Abhängigkeit der Durchschlagspannung von der Versuchstemperatur zeigt. Unter den obwaltenden Versuchsbedingungen beginnt das Gebiet des Wärmedurchschlages, das durch einen starken Abfall der Durchschlagspannung mit zunehmender Temperatur gekennzeichnet ist, bei Reinharz bei 116,5 °C. Durch Zusatz von Quarzmehl wird es infolge der höheren Wärmeleitfähigkeit des Quarzmehls in Abhängigkeit vom Quarzmehlgehalt zu höheren Temperaturen hin verschoben; bei 200 % Quarzmehlanteil beginnt es bei 129 °C. Außerdem wird der Abfall der Kurven mit zunehmendem Quarzgehalt flacher. Wkp

1) Vetter, E.: Elektr. Bd. 14 (1960) S. 309–314; 4 B., 6 Qu.



# Schutz von Silizium-Gleichrichtern in Elektrolyseanlagen

Von Hans-Albrecht Horst, Hans Heinrich Johann und Walter Schulze-Buxloh, Erlangen\*)

DK 621.316.923.1 : 621.314.632 : 669.782 : 621.357.1

Die Schutzeinrichtungen für Silizium-Gleichrichter in Elektrolyseanlagen werden durch folgende Gesichtspunkte bestimmt:

Der aktive Teil der Silizium-Gleichrichterzelle, der Siliziumkristall, ist sehr klein. Die außerordentlich niedrigen Verluste rechtfertigen eine hohe Ausnutzung der Gleichrichterzelle im Nennbetrieb. Durch forcierte Kühlung können zwar die Stromdichte und der zulässige Dauerstrom gegenüber dem Betrieb mit Selbstkühlung weiter heraufgesetzt werden, die kurzzeitige Überlastungsfähigkeit läßt sich jedoch kaum beeinflussen. Damit ergeben sich steile Überstrom-Zeitkennlinien, die relative Überlastungsfähigkeit ist gering.

Die Silizium-Gleichrichterzellen haben eine außergewöhnlich hohe Sperrspannung. Bei ihrer Verwendung ist jedoch darauf Rücksicht zu nehmen, daß sie Überspannungen nur vorübergehend vertragen.

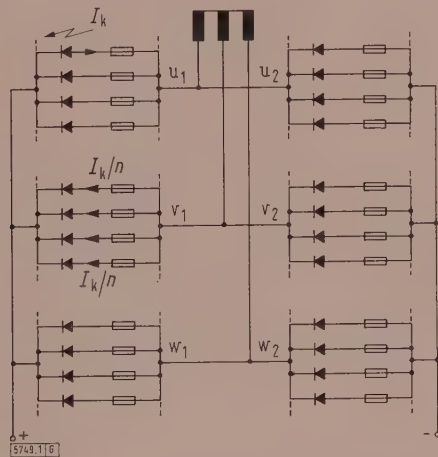


Bild 1. Gleichrichter in Drehstrom-Brückenschaltung; Kurzschlußstrom bei Verlust der Sperrfähigkeit einer Siliziumzelle.

Mehrjährige Betriebserfahrungen haben gezeigt, daß in Silizium-Gleichrichtern für die Stromversorgung von Elektrolysen Störungen nur selten vorkommen. Trotzdem haben die Schutzeinrichtungen erhebliche Bedeutung, denn der Ausfall einer Zelle oder eine Störung in der Anlage kann empfindliche Produktionsausfälle verursachen.

## Störungsursachen und ihre Auswirkungen auf die Siliziumzellen

In Großanlagen sind folgende Störungen möglich:

1. Der Verlust der Sperrfähigkeit einer Siliziumzelle (Rückzündung) ruft eine Störung im Gleichrichter selbst hervor. Dabei wird der Transformator zweipolig kurzgeschlossen.

2. Gleichstromseitige Kurzschlüsse können an der Sammelschiene oder durch Rückzündungen an parallelen Umformern entstehen. Neuere Untersuchungen [1] haben ergeben, daß ein Kurzschluß unmittelbar an den Gleichrichter-Ausgangsklemmen einem dreipoligen Kurzschluß des Transformators gleichzusetzen ist. Ventile und Transformator werden unter Umständen stärker beansprucht als bei einer Rückzündung.

Die Höhe der Ventilströme in den Störungsfällen 1 und 2 wird im wesentlichen von dem Blindwiderstand des Transformators und der Verbindungsleitungen begrenzt. Mit Rücksicht auf Wirkungsgrad, Leistungsfaktor und Span-

nungsabfall zwischen Leerlauf und Nennlast werden möglichst kleine Induktivitäten in den Kommutierungskreisen angestrebt.

Der durch die Siliziumzellen fließende Kurzschlußstrom führt in kürzester Zeit zu einer unzulässigen Erwärmung des Siliziumkristalls. Damit die für die Funktion der Zelle noch zulässige Grenztemperatur nicht überschritten wird, sind sehr flinke Schutzeinrichtungen erforderlich.

3. Überströme können durch Störungen am Verbraucher oder im speisenden Netz verursacht werden. Dabei bleibt der Gleichrichter zunächst voll betriebsfähig. In Elektrolyseanlagen haben schon geringfügige Netzspannungserhöhungen beachtliche Überströme zur Folge [2].

4. Überspannungen an den Siliziumzellen können betriebsmäßig im Gleichrichter selbst im Anschluß an die Kommutierung oder durch Schalthandlungen in der Anlage entstehen und die Siliziumzellen durch Überschreiten der Zenerspannung oder durch Spannungsüberschlag an der Oberfläche des Siliziumkristalls zerstören.

5. Eine Unterbrechung in einer der parallel geschalteten Zellen bewirkt, daß diese sich nicht mehr an der Stromführung beteiligt. Die übrigen werden entsprechend stärker belastet.

## Schutzeinrichtungen

Zum Schutz gegen kurzschlußartige Überlastungen stand zunächst nur der Kurzschließer zur Verfügung, der vom Kontaktumformer übernommen wurde [3, 4, 5]. Verschiedene Überlegungen führten sehr bald dazu, die besonderen Möglichkeiten der Silizium-Gleichrichtertechnik auszunutzen und das eine kurzschließende Schaltelement durch eine Vielzahl von einfachen Trennelementen zu ersetzen. Nach dem heutigen Stand der Technik sind hierfür Sicherungen am besten geeignet.

In Elektrolyse-Gleichrichteranlagen werden Silizium-Gleichrichterzellen hoher Stromtragfähigkeit verwendet, die z. B. bei üblicher Belüftung in der Drehstrom-Brückenschaltung einen Gleichstrom von 600 A liefern. Siliziumzellen werden mit einer Scheitelsperrspannung bis 600 V betrieben. Daraus ergibt sich der Effektivwert des Ventilstromes zu 350 A und eine größte zulässige effektive Wechselspannung von 420 V, womit die Nenndaten der Sicherung festgelegt sind.

## Verlust der Sperrfähigkeit einer Siliziumzelle

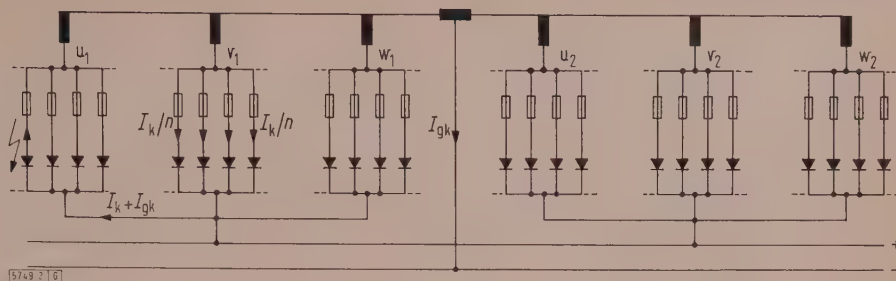
Bild 1 zeigt das Grundschaltbild eines Silizium-Gleichrichters in Drehstrom-Brückenschaltung, wie er z. B. in einer Elektrolyseanlage verwendet wird. In jeder Ventilstrecke sind mehrere Siliziumzellen parallel geschaltet. Jeder Siliziumzelle wird eine Sicherung zugeordnet, die eine gestörte Zelle selektiv abschaltet. Der Gleichrichter bleibt dann noch betriebsfähig, bei reichlicher Bemessung sogar mit Nennstrom. Die schadhafte Zelle und Sicherung können zu einem späteren, genehmen Zeitpunkt ausgewechselt werden.

Bei Verlust der Sperrfähigkeit wird eine Siliziumzelle in beiden Richtungen leitend. Der Kurzschlußstrom  $I_K$  fließt im Brückenast  $v_1$  durch  $n$  parallele Zellen und Sicherungen. Auf die eine schadhafte Zelle im Ast  $u_1$  konzentriert sich dagegen der volle Kurzschlußstrom. Da in Elektrolyse-Gleichrichteranlagen 20 bis 30 Zellen parallel geschaltet werden, kann der Kurzschlußstrom an der Einbaustelle bei üblichen Kommutierungsreaktanzen von 8 bis 10 % (Scheitel-) Werte in der Größe des 400- bis 600-fachen Nennstromes der Sicherung erreichen. Von der Sicherung ist daher ein fast unbegrenztes Ausschaltvermögen zu fordern.

\*) Dipl.-Ing. H.-A. Horst, Dr. phil. H. H. Johann und Dr.-Ing. W. Schulze-Buxloh sind Mitarbeiter der Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen.



Bild 2. Gleichrichter in Doppelsternschaltung mit Saugdrossel; Kurzschlußströme bei Verlust der Sperrfähigkeit einer Siliziumzelle.



Bei Mittelpunktschaltungen, z. B. Doppelsternschaltung mit Saugdrossel (Bild 2), und Parallelbetrieb mit anderen Umformern überlagert sich bei Verlust der Sperrfähigkeit einer Zelle dem von der Drehstromseite gelieferten Kurzschlußstrom  $I_K$  ein gleichstromseitiger Rückstrom  $I_{gK}$ . Bei Parallelauf mehrerer Einheiten bleibt die Gleichspannung an der Sammelschiene praktisch konstant. Der Stromanstieg in der durchgeschlagenen Zelle wird fast nur von der Induktivität der Verbindungsleitungen zur Sammelschiene begrenzt. Diese ist meist nicht höher als  $25 \mu\text{H}$ . Bei einer Gleichspannung von  $250 \text{ V}$  führt das zu Stromanstiegsgeschwindigkeiten bis zu  $10 \text{ kA/ms}$ . Die Sicherung soll auch bei dieser zusätzlichen Beanspruchung so schnell schalten, daß Gleichstrom-Schnellschalter und Drosseln zum Begrenzen des Stromanstieges entbehrlich sind.

Die Sicherung muß die schadhafte Zelle ausschalten, bevor die Zellen der Folgephase (in diesem Fall  $v_1$ ) infolge Überlastung ihre Sperrfähigkeit verloren haben. Diese Forderung kann jedoch bei Parallelschaltung mehrerer Siliziumzellen schon mit normalen NH-Sicherungen erfüllt werden, stellt also keine zusätzlichen Bedingungen an die Sicherung.

Die Forderung nach unbegrenztem Ausschaltvermögen darf aber nicht durch eine zu hohe Schaltspannung während der Lichtbogenlöschung in der Sicherung erkauft werden. Diese Schaltspannung legt sich an die unmittelbar parallel geschalteten noch gesunden Zellen, die nicht zerstört werden dürfen. Damit ein genügend großer Abstand zur Prüfspannung der Siliziumzellen gewahrt bleibt, soll die Schaltspannung an der Sicherung bei Unterbrechung gegen eine treibende Spannung von  $420 \text{ V}$   $900 \text{ V}$  nicht überschreiten.

### Gleichstromseitiger Kurzschluß

Eine zusätzliche Forderung an die Sicherung stellt der gleichstromseitige Kurzschluß. Bei einem Kurzschluß an der Sammelschiene kann die Stromanstiegsgeschwindigkeit, die wiederum durch die Gleichspannung und die Induktivität der Verbindungsleitungen bestimmt wird, in der Doppelsternschaltung mit Saugdrossel  $10 \text{ kA/ms}$  und in der Drehstrom-Brückenschaltung  $20 \text{ kA/ms}$  erreichen.

Diese hohen Überlastungen verteilen sich zwar auf die parallelen Zellen und Sicherungen. Dennoch könnten die Zellen zerstört werden, weil in Zeiten von  $10^{-3} \text{ s}$  die Wärme nicht mehr abgeführt wird. Die Wärmemenge ist proportional dem  $\int i^2 dt$  und erreicht bei Stromstößen von sehr kurzer Dauer einen zulässigen Grenzwert. Experimentell wurde dieser Grenzwert für die vorausgesetzte Siliziumzelle ( $600 \text{ A}$  Gleichstrom) nach Vorbelastung mit Nennstrom zu  $50000 \text{ A}^2\text{s}$  bestimmt (Bild 3). Der Ausschaltvorgang in der Sicherung muß auch bei den höchsten Strömen vollständig beendet sein, bevor dieser Grenzwert erreicht ist.

Bei Parallelbetrieb mit anderen Umformerarten (Quecksilberdampf-Gleichrichtern, Kontakt-Umformern) ist mit häufigeren kurzschlußähnlichen Belastungen zu rechnen. Im Silizium-Gleichrichter würde dabei der größte Teil der Sicherungen schalten. Um dies zu verhindern, werden Kurzschließer verwendet. Sie schließen in 1 bis  $1,5 \text{ ms}$  die Drehstrom-Zuleitungen zum Gleichrichter kurz und entlasten damit die Sicherungen und auch die Siliziumzellen. Der kurzgeschlossene Transformator wird vom Hochspannungsschalter ausgeschaltet.

In reinen Silizium-Gleichrichteranlagen kommen kurzschlußartige Überlastungen nur selten vor. Insbesondere bei hohen Elektrolyseströmen sind Kurzschlußströme an der Sammelschiene, die in kurzer Zeit zum Schalten der Sicherungen führen würden, praktisch nicht möglich. Ein Kurzschluß unmittelbar an den Ausgangsklemmen eines Gleichrichters kann durch konstruktive Maßnahmen (Schottung) verhindert werden. Damit ist in diesen Anlagen ein den Sicherungen überlagerter Schutz durch Kurzschließer entbehrlich.

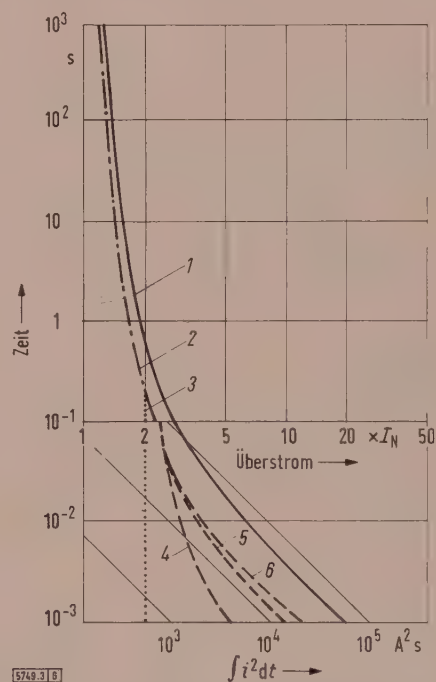


Bild 3. Überstrom-Zeitverhalten der Silizium-Gleichrichterzelle und der Schutzeinrichtungen.

- 1 Silizium-Gleichrichterzelle
- 2 Überstrom-Zeitrelais
- 3 Kurzschließer
- 4 Speziälsicherung, Wärmewert (Schmelzen)
- 5 Speziälsicherung, Wärmewert (Schmelzen und Löschen bei  $220 \text{ V}$ )
- 6 Speziälsicherung, Wärmewert (Schmelzen und Löschen bei  $380 \text{ V}$ )

Ob bei kleineren Badströmen Kurzschließer notwendig sind, hängt vom Aufbau und den Betriebsbedingungen der Anlage ab.

### Überstrom

Die Verwendung eines üblichen Überstrom-Zeitrelais mit Bimetallstreifen verbietet sich, da es viel zu träge und das Streuband der Auslösewerte zu groß ist. Daher wurde für den Schutz des Silizium-Gleichrichters gegen Überstrom ein elektronisch arbeitendes integrierendes Relais entwickelt, das den Überstrom nach Höhe und zeitlicher Dauer erfaßt und der Überstrom-Zeitkennlinie der Siliziumzellen angepaßt ist (Bild 3). Das Relais besteht im wesentlichen aus einer Kombination von Widerständen und Kondensatoren, die je nach Höhe des Überstromes über Schwellwert-Gleichrichter zugeschaltet werden. Bei Erreichen der Ansprechkennlinie wird der Drehstrom-Leistungsschalter ausgelöst.



### Überspannungen

Während der Stromwendung zwischen den einzelnen Ventilstrecken verringert sich der Strom im stromabgebenden Zweig schneller als die Ladungsträgerdichte in der Sperrschicht der Siliziumzellen. Dies gilt besonders für Elektrolyseanlagen, in denen die Blindwiderstände in den Kommutierungskreisen klein sind. Im Strom-Nulldurchgang sollen die Zellen des abgebenden Zweiges eigentlich augen-

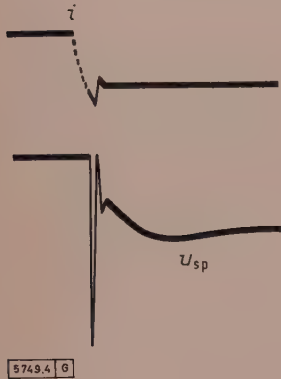


Bild 4. Verlauf der Kommutierung im Silizium-Gleichrichter ohne RC-Beschaltung.

blicklich sperren. Wegen der in der Sperrschicht verbliebenen Ladungsträger sind sie dazu aber nicht in der Lage. Der Kommutierungsvorgang setzt sich weiter fort (Bild 4). Erst wenn die letzten Ladungsträger verschwunden sind, sperrt die Zelle, und der Strom reißt ab. Wegen der Induktivitäten im Kommutierungskreis schnellte in diesem Augenblick die Spannung an der Zelle hoch, was zu deren Zerstörung führen kann.

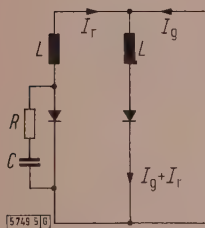


Bild 5. Kommutierung im Silizium-Gleichrichter mit RC-Beschaltung.

Diese periodisch wiederkehrenden Überspannungen müssen unterdrückt werden, z. B. durch Parallelschaltung von RC-Gliedern [4]. Der Kondensator C soll die in den Induktivitäten  $2L$  des Kommutierungskreises gespeicherte Energie aufnehmen (Bild 5):

$$\frac{1}{2} C U_{sp}^2 = \frac{1}{2} 2 L I_r^2.$$

$U_{sp}$  ist die für die Zellen zulässige Sperrspannung,  $I_r$  der Spitzenwert des Rückstromes am Ende der Kommutierung. Die Induktivität  $L$  ergibt sich aus der relativen Kurzschlußspannung

$$L = \frac{u_k U_{sp}}{2 \omega I_g}.$$

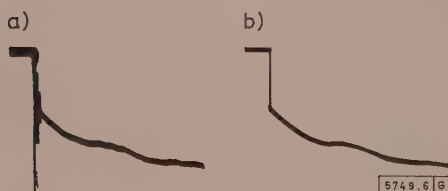


Bild 6. Begrenzung der Kommutierungs-Überspannung durch RC-Beschaltung.

a) Zelle unbeschaltet, b) Zelle beschaltet mit  $C = 0,2 \mu F$ ;  $R = 40 \Omega$ .

Daraus folgt für die Kapazität

$$C = \frac{u_k I_r^2}{\omega I_g U_{sp}}.$$

Der Spitzenwert des Rückstromes  $I_r$  ist in Versuchen zu rd. 15 A ermittelt worden. Die relative Kurzschlußspannung ist im Durchschnitt 10 %. Bei einer zulässigen Sperrspannung der Zellen von 600 V und einem zulässigen Gleichstrom von 600 A wird

$$C = 0,2 \mu F.$$

Im Augenblick der Sperrung in der Zelle wird der Rückstrom auf das RC-Glied gedrängt. Da der Kondensator ungeladen ist, fällt an der Siliziumzelle sofort die Spannung  $R \cdot I_r$  ab. Für den Widerstand folgt daraus

$$R \leq 40 \Omega.$$

Die Richtigkeit dieser Rechnung ist experimentell mit  $C = 0,2 \mu F$  und  $R = 40 \Omega$  nachgeprüft worden (Bild 6).

Bei Parallelschaltung von  $n$  Siliziumzellen in Großanlagen kann entweder jeder Zelle ein RC-Glied oder dem gesamten Zweig ein Kondensator  $n \cdot C$  und ein Widerstand  $R/n$  parallel geschaltet werden.

Die RC-Beschaltung hat noch den Vorteil, daß die Zellen auch gegen alle hochfrequenten Überspannungen kurz-

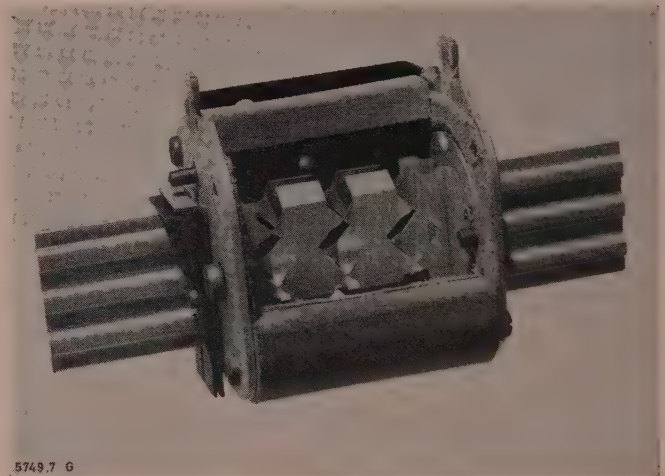


Bild 7. Geöffneter Sicherungseinsatz mit Feinsilber-Schmelzleiter und magnetischer Anzeigevorrichtung.

geschlossen sind. Dazu gehören z. B. Gewitter-Überspannungen, die allerdings schon durch Überspannungsableiter begrenzt und durch Netz- und Gleichrichter-Transformatoren gedämpft werden. Auch bei Ausschaltung von netzzeitigen Kurzschlußströmen treten Überspannungen mit Frequenzen von 1 bis 100 MHz auf [5], gegen die RC-Glieder einwandfrei schützen.

Ferner ist noch eine andere Störungsursache zu beachten. Beim Abschalten leerlaufender Transformatoren durch Schalter mit stromunabhängiger Lichtbogenlöschung (z. B. Druckluftschalter) kann der Strom innerhalb einer Halbwelle unterbrochen werden. Das ergibt große Stromänderungsgeschwindigkeiten und damit hohe Überspannungen. Die einfachste Abhilfemaßnahme ist eine Verriegelung, die Leerabschaltungen verhindert. Die Sicherungen in den Siliziumgleichrichtern machen ohnehin Gleichstromschalter entbehrlich, so daß jede Schalthandlung auf der Drehstromseite vorgenommen werden kann. Bei Schaltern mit stromabhängigem Löschrinzip (z. B. ölarme Schalter, Expansionsschalter), die im allgemeinen im Nulldurchgang des Stromes unterbrechen, sind derartige Überspannungen nicht aufgetreten. In Ausnahmefällen müssen Dämpfungsglieder den Transformatorwicklungen parallel geschaltet werden. Diese können, wie beim Schutz gegen Kommutierungs-Überspannungen, RC-Glieder sein, die dann aber reichlicher auszu-



legen sind, oder spannungsabhängige Widerstände, die mit Rücksicht auf den Wirkungsgrad nur kurzzeitig während des Ausschaltvorganges zugeschaltet werden.

Unterbrechung in der Zelle

Eine Unterbrechung in der Zelle wird von den bisher beschriebenen Schutzeinrichtungen nicht erfaßt. Sie beeinträchtigt auch nicht unmittelbar die Funktion des Gleichrichters, solange die parallel liegenden Zellen den Stromanteil der gestörten Zelle übernehmen können. Fallen jedoch im Laufe der Zeit weitere Zellen aus, so könnte durch die stärkere Belastung der restlichen Zellen eine Art Kettenreaktion entstehen, die zum Abschmelzen aller parallel geschalteten Sicherungen führt.

Da eine Störung in einer einzelnen Zelle äußerlich nicht sichtbar wird, wurde eine einfache magnetische Anzeigevorrichtung entwickelt. Sie besteht aus einem kleinen magnetischen Doppeljoch, das auf ein Kontaktmesser der Sicherung gesteckt ist. Bei Stromdurchgang stoßen sich die paarweise gleichnamigen Magnetpole ab und zeigen nach Drehung eines Joches den normalen Betriebszustand durch ein weißes Schauzeichen an. Bei Stromrückgang unter ein Drittel des Nennstromes wird ein rotes Schauzeichen sichtbar. Die Vorrichtung ist lage- und fremdfeld-unabhängig (Bild 7).

Zusammenstellung

In Tafel 1 sind die für die Silizium-Gleichrichter entwickelten Schutzeinrichtungen zusammengestellt. Bild 8 zeigt das Schaltbild eines Silizium-Gleichrichtergerätes, Bild 3 das Zusammenwirken der Schutzeinrichtungen.

Tafel 1. Zusammenstellung der Störungsmöglichkeiten und der Schutzeinrichtungen.

Störungsart	Schutzeinrichtung	Schutzeinrichtung bewirkt
1 Verlust der Sperrfähigkeit einer Siliziumzelle	Spezialsicherung	selektives Heraus-schalten der schad-haften Siliziumzelle (Gleichrichter bleibt in Betrieb)
2 gleichstromseitiger Kurzschluß	Spezialsicherung	Ausschalten des Gleich-richters, bevor die Siliziumzellen über-lastet werden
	Kurzschließer (als überlagerte Schutzeinrichtung)	sofortige Entlastung der Sicherungen und der Siliziumzellen
3 Überstrom	Überstrom-Zeitrelais	Auslösen des Dreh-strom-Leistungsschalters
4 Überspannungen	RC-Beschaltung (spannungs-abhängige Widerstände)	Unterdrückung der Kommutierungs- und Schaltüberspannungen
5 Unterbrechung in der Zelle	magnetische Anzeigevorrichtung	Anzeige der schad-haften Zelle

Die Spezialsicherung

Für die Sicherung sollte die allgemeine Bauform und das Löschrinzip der NH-Sicherungen beibehalten werden. Aus der besonderen Aufgabenstellung ergaben sich jedoch einige bemerkenswerte Probleme.

Ansprechgeschwindigkeit

Eine Grundforderung war, daß die Sicherung bei verhältnismäßig niedrigen Überströmen extrem rasch, d. h. bei geringsten Wärmewirkungen im Strompfad schmelzen und unterbrechen sollte.

Strom- und Zeitfaktor der Wärmewirkung eines Stromstoßes sowohl in der zu schützenden Zelle als auch in einer Sicherung können durch die Größe  $\int i^2 dt$ , den „Wärmewert“, ausgedrückt werden. Der zum Schmelzen einer beliebigen Sicherung erforderliche Wärmewert nimmt mit kürzerer Schmelzzeit bis auf einen für diesen Sicherungstyp charakte-

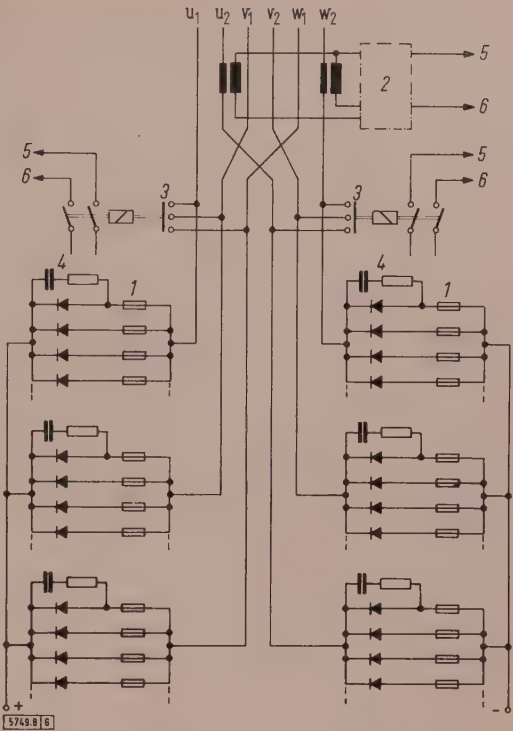


Bild 8. Silizium-Gleichrichter in Drehstrom-Brückenschaltung mit Schutzeinrichtungen.

- 1 Spezialsicherung
- 2 Überstrom-Zeitrelais
- 3 Kurzschließer
- 4 RC-Beschaltung (jeder Siliziumzelle zugeordnet, wurde der Übersichtlichkeit halber nur einmal je Brücken-zweig gezeichnet)
- 5 Störungsmeldung
- 6 Drehstrom-Leistungsschalter

ristischen Grenzwert ab, der von dem Schmelzleiter-Querschnitt an der engsten Stelle, von Werkstoffkonstanten und von der Temperatur bei Eintritt des Stromstoßes abhängt [8]. Der Schmelzwert der Spezialsicherung muß jedoch erheblich niedriger gehalten werden als der für die Siliziumzelle zulässige Wert, weil das Löschen des Lichtbogens eine weitere Zeit erfordert. Praktisch ist für den vorliegenden Fall nur Silber als Schmelzleiter-Werkstoff mit einem Engstellen-Querschnitt von etwa 0,35 mm<sup>2</sup> zulässig. Bereits bei Nennstrombelastung entsteht dort eine Stromdichte von etwa 1000 A/mm<sup>2</sup>, die auch für sonstige stärker bemessene Teile des Schmelzleiters verhältnismäßig hohe Temperaturen erwarten läßt.

Ferner sollte der zulässige Dauerstrom der Sicherung ( $1,05 \times I_N$ ) so dicht bei dem Abschmelzstrom ( $1,2 \times I_N$ ) liegen, daß die üblichen Maßnahmen zum Erniedrigen der Schmelzleitertemperatur und der Verlustleistung nicht angewendet werden konnten. Auch die Forderung nach möglichst kurzen Schmelzzeiten bei mäßigen Überströmen verbot dies. So blieb nur der Weg, die räumliche Ausdehnung der Engstellen mit ihrer unvermeidlich hohen Stromdichte und hohen Temperatur möglichst zu beschränken und die übrigen Teile des Schmelzleiters so weit zu verstärken, daß die an den Engstellen entstehende Wärme abfließen kann und der verlangte Dauerstrom auch von den Engstellen noch mit Sicherheit gehalten wird.

Schaltgeschwindigkeit

Es wäre jedoch unzweckmäßig, nur die für eine Beschränkung der Verlustleistung wichtigen Gesichtspunkte zu beachten. Auch der in der Sicherung nach dem Durchschmelzen entstehende Schaltlichtbogen soll gelöscht werden, bevor die Wärmewirkung in der Zelle zu groß wird. Für eine rasche Löschung ist eine ausreichend hohe Lichtbogen-spannung erforderlich. Sie ist nur zu erreichen durch schnelles Längenwachstum des Lichtbogens in solchen Teilen des Löschesandes, deren Temperatur noch nicht zu hoch ist [9]. Eine Möglichkeit hierfür besteht in der Verwendung von



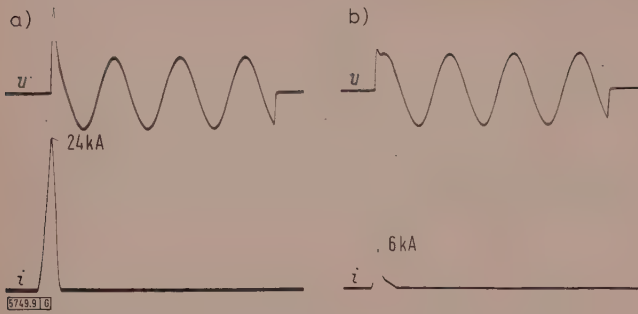


Bild 9. Kurzschluß-Ausschalt-Oszillogramm einer Normalsicherung 355 A (links) und einer Spezialsicherung 350 A bei Wechselstrom  
 $U = 250 \text{ V}$ ;  $I_k = 20 \text{ kA}$ .

genügend lang gestreckten Engstellen, doch würde dies der hier aus thermischen Gründen notwendigen andersartigen Ausbildung widersprechen. Eine zweckmäßige Lösung ergab sich aus der an sich bekannten Maßnahme, daß mehrere kurze Engstellen in Reihe angeordnet werden. Auch hierbei steigt natürlich die Wärmeerzeugung, aber die Wärmeableitung aus jeder einzelnen Engstelle bleibt annähernd erhalten, und man hat die Möglichkeit, durch Form und Anzahl der Engstellen den wirksamen Summenwert der einzelnen Lichtbogenspannungen fast beliebig zu steuern [10].

#### Konstruktive Lösung

Die geforderten Eigenschaften ließen sich mit einer im wesentlichen dem Normblatt DIN 43 620 (M) Größe 3 entsprechenden Bauweise erreichen. Der Schmelzleiter aus Feinsilber erhielt eine durch Ausstanzen hergestellte Querschnittverteilung nach Bild 7. Die Form der Engstellen ist ein günstiger Kompromiß zwischen den Forderungen nach geringem Widerstand durch Anpassung an den Stromlinienverlauf, nach Beschränkung der Gebiete höchster Stromdichte und nach hinreichend guter Verlängerungsmöglichkeit dort entstehender Lichtbögen.

Die unvermeidbar größere Verlustleistung würde bei Selbstkühlung insbesondere in Großanlagen zu einer thermischen Gefährdung der Unterteil-Kontaktfedern führen. Da aber die Sicherungen stets mit den von ihnen geschützten Zellen in gemeinsamen Schränken untergebracht sind, so können sie ohne besonderen Aufwand durch deren Kühlluftstrom mitgekühlt werden. Für die Beschränkung der Kontakt-Übertemperatur auf üblicherweise zugelassene Werte ( $85^\circ\text{C}$ ) genügt bereits eine Luftgeschwindigkeit von  $1 \text{ m/s}$ . Zum Erhöhen der Sicherheit erhielten die Endplatten der Sicherungskörper zusätzliche Kühlfahnen.

#### Kenn Daten

Eine Darstellung des Ausschaltverhaltens in Art der üblichen Strom-Zeit-Kennlinien wird zweckmäßig auf den relativen Überstrom der Gleichstrom-Seite bezogen (Bild 3). Bei Strömen, die Schaltzeiten kleiner als  $0,1 \text{ s}$  bewirken, geben die  $\int i^2 dt$ -Werte eine bessere Vergleichsmöglichkeit als die reinen Zeitwerte. Sie sind für die Schmelzzeit und für die gesamte Ausschaltzeit aus der Lage der Kennlinien im  $\int i^2 dt$ -Netz (schräge Netzlinien) abzulesen.

Der unterste Grenzwert zum Schmelzen beträgt nach Vorbelastung mit Nennstrom dank der verhältnismäßig hohen Betriebstemperatur der Engstellen nur noch etwa  $3 \cdot 10^3 \text{ A}^2\text{s}$ , was durchaus erwünscht ist. Die Schmelzwerte wachsen für abnehmenden Strom, und die Ausschaltwerte sind spannungsabhängig.

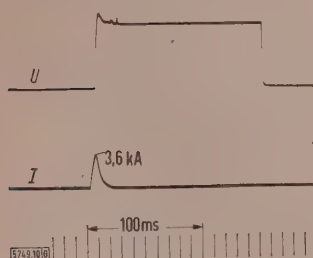


Bild 10. Kurzschluß-Ausschalt-Oszillogramm einer Spezialsicherung 350 A bei Gleichstrom.  
 $U = 400 \text{ V}$ ;  $I_k = 7 \text{ kA}$ .

Die Sicherung ist so ausgelegt, daß die für gesunde Zellen zugelassenen  $\int i^2 dt$ -Werte bei allen Schaltzeiten kleiner als  $0,1 \text{ s}$  nicht überschritten werden.

Die Kurven in Bild 9 veranschaulichen das Ausschalten gleich hoher Kurzschlußströme mit einer normalen, verhältnismäßig kurzschlußflinken Sicherung und mit einer Spezialsicherung gleichen Nennstromes. Die Schmelz- $\int i^2 dt$ -Werte betragen  $6 \cdot 10^8$  und  $8 \cdot 10^3 \text{ A}^2\text{s}$ . Das Schmelzverhalten der Spezialsicherung entspricht etwa dem einer normalen Sicherung von  $63 \text{ A}$  Nennstrom.

#### Schaltvermögen und Schaltspannungen

Die Oszillogramme der Ausschaltung eines 50-Hz-Kurzschlusses nach Bild 9 zeigen, daß durch die Ausbildung der Schaltstrecken zwar die Schaltspannung rasch ansteigt, diese zugleich aber auf weniger als den 1,1-fachen Wert des Scheitelwertes der treibenden Spannung (hier  $250 \text{ V} / \sqrt{2}$ ) begrenzt wird. Das geforderte Schaltvermögen selbst muß bis wenigstens  $420 \text{ V}$  Wechselspannung vorhanden sein. Es wird durch die frühzeitige Begrenzung des Stromes sehr begünstigt. Einpolige Versuche in einem Hochleistungsprüffeld mit stark übersteigter Spannung zum Erzielen eines möglichst hohen Kurzschlußstromes ( $83 \text{ kA}$  bei  $550 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $\cos \varphi < 0,1$ ) ergeben zwar, wie zu erwarten, etwas längere Löschzeiten, aber stets einwandfreie Ausschaltung mit so reichlicher Reserve, daß das Schaltvermögen bei  $\leq 420 \text{ V}$  wenigstens  $200 \text{ kA}$  beträgt.

Die Sicherung hat auch gegenüber Gleichspannung bis  $600 \text{ V}$  ein entsprechendes Schaltvermögen. Im allgemeinen sind aber keine höheren Rückspannungen als  $250 \text{ V}$  zu erwarten. Bild 10 zeigt eine Abschaltung, die sogar noch bei  $400 \text{ V}$  rasch und mit geringer Überspannung erfolgt.

#### Verlustleistung und Dauerbelastbarkeit

Die Verlustleistung beträgt bei Nennstrom betriebswarm etwa  $95 \text{ W}$  gegenüber  $35$  bis  $45 \text{ W}$  bei normalen und weniger ausgelasteten Sicherungen. Sie sinkt aber bei geringerer Belastung wegen des hohen Temperaturkoeffizienten des Schmelzleiters mit etwa der dritten Potenz des Stromes. Auch bei Nennstrom ist sie nur ein Bruchteil der Verlustleistung der Zelle.

Trotz Nähe des Abschmelz-Grenzstromes wird der Nennstrom dauernd ohne Alterung gehalten, wie über Jahresfrist laufende Dauer- und Dauerwechselversuche bestätigten.

#### Zusammenfassung

In Silizium-Gleichrichtern für die Stromversorgung von Elektrolysen ist trotz hoher Betriebssicherheit Vorsorge gegen mehrere Arten von Störungen zu treffen. Die möglichen Störungsarten werden erläutert. Die besonderen Eigenschaften und Betriebsbedingungen der Silizium-Gleichrichter erfordern neuartige, besonders schnell wirkende Schutzeinrichtungen. Eine dem Wärmewert der Siliziumzelle angepaßte Spezialsicherung mit fast unbegrenzter Ausschaltleistung bei geringer Schaltspannung wird beschrieben.

#### Schrifttum

- [1] Schulze-Buxloh, W.: Die Stromspannungsverhältnisse eines Gleichrichters in Drehstrom-Brückenschaltung zwischen Leerlauf und Kurzschluß. Dissertation TU Berlin 1960.
- [2] Müller, E.: Silizium-Gleichrichter im Elektrolysebetrieb. Siemens-Z. Bd. 35 (1961) S. 317-323.
- [3] Gatz, H.: Der Kurzschlußschutz von Halbleitergleichrichtern in Elektrolyseanlagen. ETZ-A Bd. 81 (1960) S. 729-735.
- [4] Völger, H.: Ein Silizium-Stromrichter für Parallelbetrieb mit Quecksilberdampf- und Kontaktstromrichtern. AEG-Mitt. Bd. 50 (1960) S. 476-480.
- [5] Nitsche, E., u. Pokorny, F.: Der Silizium-Gleichrichter in der Starkstromtechnik. ETZ-A Bd. 80 (1959) S. 506-512.
- [6] Patentschrift Nr. 972 096 21. 5. 59.
- [7] Strigel, R.: Elektrische Stoßfestigkeit. Springer-Verlag, Berlin 1955 S. 208 f.
- [8] Johann, H. H.: Eine Formel für die Stromzeitkennlinie von Schmelzsicherungen und ihre Anwendung zur Ermittlung von Kennwerten. ETZ Bd. 58 (1937) S. 684-686.
- [9] Müller, A. O., u. Paetow, H.: Aufbau, Wirkungsweise und Betriebseigenschaften der neuen NH-Sicherungen. Siemens-Z. Bd. 25 (1951) S. 149-153.
- [10] Johann, H. H.: Die Lenkung des Schaltvorganges in Hochspannungssicherungen mit körnigem Löschmittel. VDE-Fachber. 1954, II, S. 34-38.



# Drehstrom-Asynchronmotoren in der chemischen Industrie

Von Philip Sattler und Herbert Rentzsch, Mannheim\*)

DK 621.313.333.004 : 66

## Wahl der Motoren

Drehstrom-Asynchronmotoren sind als wirtschaftlich und betriebssicher arbeitende Antriebe wesentlicher Bestandteil vieler Anlagen der chemischen Industrie. Den Betriebsbedingungen und Erfordernissen der chemischen Industrie entspricht der Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer in explosionsgeschützter Ausführung „erhöhte Sicherheit“, der vielfach als „Chemiemotor“ bezeichnet wird. Seine Entwicklung in enger Zusammenarbeit von Elektrotechniker, Verfahreningenieur und Chemiker hat in den letzten Jahren weitere Fortschritte gemacht und befruchtete auch die Antriebe anderer Industriezweige, vor allem der Walz- und Hüttenwerke, die unter ähnlich rauen Bedingungen arbeiten. Die Wicklungen der Motoren müssen für die mechanischen Beanspruchungen, die durch den Stromstoß bei Netzumschaltungen auftreten können, abgestützt werden.

Der Chemiemotor muß dem pausenlosen Dauerlauf auch unter den erschwerten Bedingungen des Chemiebetriebes gewachsen sein, da ein Ausfall des Antriebes zu Produktionsverlusten führt, deren Kosten die Rentabilität der Anlage herabsetzen. Luftfeuchtigkeit, Staub, Umgebungstemperatur, Korrosions- und Explosionsgefahr durch umgebende Gase oder Dämpfe beeinflussen seine Lebensdauer und Betriebssicherheit.

Unter den erschwerten Betriebsbedingungen lassen sich Ausfälle von Motoren kaum vermeiden, ihre Behebung durch rasches Auswechseln ist zum Aufrechterhalten der Produktion notwendig. Um die Lagerhaltung an Ersatzmotoren in erträglichen Grenzen zu halten, ist ein Ziel jeder Planung der Elektroabteilung der großen chemischen Werke, die häufig 10 000 und mehr Elektromotoren zu betreiben hat [1], die Beschränkung auf Typenreihen mit weitgehender Austauschbarkeit.

Vielfach werden auch dort, wo eine explosionsgeschützte Ausführung des Antriebsmotors aus Sicherheitsgründen nicht erforderlich ist, Ex-Motoren mit entsprechend herabgesetzter Leistung für eine zulässige Übertemperatur von 70 °C bei Isolationsklasse B benutzt, da die geringen Mehrkosten eine Verlängerung der Lebensdauer der Ständerwicklung um mehr als das Doppelte erwarten lassen [2] und die zur Verfügung stehende Leistungsreserve größer ist. Da die Motoren im Dauerbetrieb im Teillastbereich arbeiten, wird ein möglichst flacher Verlauf der Wirkungsgradkurve zwischen  $\frac{3}{4}$ - und  $\frac{1}{4}$ -Last gefordert.

## Normung

Geschlossene Drehstrommotoren in Schutzart P 33 werden bei Normalfrequenz bis etwa 350 kW für Niederspannung, bezogen auf die vierpolige Ausführung, und bis etwa 280 kW für Hochspannung in Isolationsklasse B oder F als oberflächengekühlte Rippenmotoren mit Gußgehäuse gebaut. Für oberflächengekühlte Motoren bis 132 kW entstanden im Rahmen der IEC<sup>1)</sup> international anerkannte Empfehlungen in dem Bestreben, das Auswechseln von Motoren verschiedenster Hersteller zu ermöglichen, und zwar in erster Linie hinsichtlich der Abmessungen, ohne Hinweis auf die Leistung. Die Empfehlung der IEC führte zur Schaffung des Deutschen Normmotors nach DIN 42 673 Blatt 1. Unmittelbar nach dem Erscheinen des Blattes, in dem über die IEC-Empfehlung hinausgehend auch die Leistung den Hauptabmessungen zugeteilt wurde, um die volle Austauschbarkeit sicherzustellen, wurden die Arbeiten für eine in Chemiebetrieben verwendbare Reihe explosions-

geschützter deutscher Normmotoren begonnen und in DIN 42 673 Blatt 2 im Januar 1961 veröffentlicht.

In DIN 42 673 Blatt 1 sind die Anbaumaße für oberflächengekühlte Drehstrommotoren mit Käfigläufer in der Bauform B3 festgelegt. Die gleichen, den Baugrößen zugeordneten Baumaße gelten auch für Motoren in explosionsgeschützter Ausführung, Schutzart „Erhöhte Sicherheit“ (Ex) e nach VDE 0171. Wegen der nach VDE 0171 für (Ex) e-Motoren gegenüber VDE 0530 herabgesetzten Erwärmungsgrenze und den Bedingungen für den Temperaturanstieg bei festgebremstem Läufer sind die Leistungswerte gegenüber denen der Motoren gleicher Baugröße in Schutzart P 33 ohne Explosionsschutz vermindert.

Die Leistungswerte der explosionsgeschützten Motoren sind in DIN 42 673 Blatt 2 für die Drehzahlen 750 bis 3000 U/min — jeweils unterteilt für die Zündgruppen G 1 und G 2 sowie die Zündgruppe G 3 — festgelegt. Die kleineren Leistungen stimmen bis zu einer bestimmten Grenze für alle drei Zündgruppen überein. Bild 1 zeigt einen Deutschen Normmotor für 132 kW. Die Normung dieser Motoren im Rahmen der IEC und des DNA hat eine weltweite Bedeutung und erfüllt einen langgehegten Wunsch der chemischen Industrie und anderer Verbraucher.

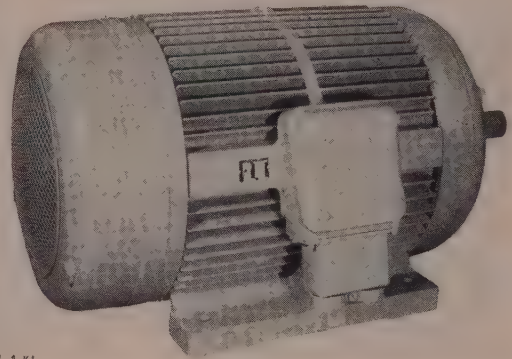


Bild 1. Deutscher Normmotor Baugröße 315 M nach DIN 42 673 für eine Leistung von 132 kW in Normalausführung und 120 kW in explosionsgeschützter Ausführung für Zündgruppe G 1 und G 2.

## Kühlung

Da bei steigender Leistung die inneren Motorverluste stärker zunehmen als die kühlende Oberfläche, wird der rippengekühlte Motor bei vierpoliger Ausführung ab 280 bzw. 350 kW Leistung unwirtschaftlich. Größere Motorleistungen erfordern die Anordnung eines Wärmeaustauschers in Form eines Hohlrippen- oder Röhrenkühlers. Die Kühlwirkung beruht bei diesen Motoren auf dem Austausch der vom Innenluftstrom mitgeführten Verlustwärme an das äußere Kühlmittel, für das in erster Linie Luft oder Wasser verwendet werden. Wegen der zunehmenden Verschmutzung des Flußwassers wird das Unterbringen einer möglichst großen Leistung in den mantelgekühlten Motoren mit Luft als äußerem Kühlmittel verlangt und hat jetzt eine durch das Luftströmungsgeräusch bedingte Grenze von etwa 1800 kW bei Isolationsklasse B und 1700 kW bei Isolationsklasse B und Zündgruppe G 2 für Kurzschluß- und Schleifringläufer erreicht.

## Motorgeräusche

Die Häufung zahlreicher Antriebsmotoren und Arbeitsmaschinen auf engem Raum in vielen Anlagen läßt besondere Laufruhe und Geräuscharmheit für Motor und Anlage fordern. Deshalb wird vielfach verlangt, daß die Lautstärke des Maschinengeräusches, mit dem Oktavbandsieb gemessen, im Pegel-Oktav-Diagramm an keiner Stelle die so-

\*) Dr.-Ing. Ph. Sattler und Dipl.-Ing. H. Rentzsch sind Mitarbeiter der Brown, Boveri & Cie. AG, Mannheim.

1) IEC = International Electrotechnical Commission.



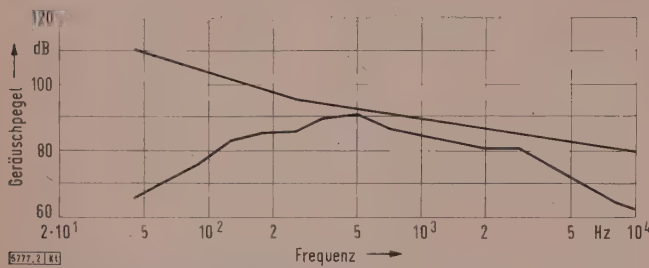


Bild 2. Pegel-Oktav-Diagramm des Maschinengeräusches eines mantelgekühlten Drehstrom-Asynchronmotors 1200 kW, 1485 U/min mit eingezeichneter Grenzkurve.

genannte 9-Bel-aeq-Linie überschreitet, d. h. eine Linie, die durch den Punkt 1000 Hz, 90 dB läuft und oberhalb 250 Hz einen Abfall von 3 dB/Oktave, unterhalb von 250 Hz einen Anstieg von 6 dB/Oktave aufweist.

Da das Maschinengeräusch eines Elektromotors ein breitbandiges, mit steigender Frequenz in der Lautstärke abnehmendes Rauschen darstellt, ist es möglich, durch geeignete Wahl des Lüfterrades für den Außenluftstrom die Geräuschkurve der Grenzkurve anzunähern und die größtmögliche Maschinenleistung zu erzielen. Bild 2 zeigt das Pegel-Oktav-Diagramm eines 1200-kW-Motors mit 1500 U/min Betriebsdrehzahl mit eingezeichneter Grenzkurve. Bild 3 zeigt den zugehörigen Motor.

#### Der Elektromotor im chemischen Betrieb

Der Ausnutzungsgrad der Produktionsanlagen chemischer Betriebe liegt im allgemeinen sehr hoch, da der chemische Produktionsprozeß durch einen stetigen, ununterbrochenen Ablauf von Reaktionen großer gasförmiger, flüssiger oder fester Stoffmengen miteinander gekennzeichnet ist. Die Entwicklung der Verfahrenstechnik führt zu immer größeren Anlagen, da größere Einheiten nicht nur eine höhere Ausbeute, sondern auch einen besseren Wirkungsgrad ermöglichen. Wegen seiner vielseitigen Verwendbarkeit, seines einfachen Aufbaues, der geringen Störanfälligkeit und leichten Reparaturmöglichkeit wird auch für große Leistungen der Kurzschlußläufermotor dem Schleifringläufermotor vorgezogen. Die leistungsfähigen Netze großer chemischer Unternehmen gestatten für vierpolige Motoren mit 4000 kW und mehr das direkte Einschalten.

Drehstrom-Asynchronmotoren dieses Leistungsbereiches werden als Wirbelstromläufer zum Antrieb von Turboverdichtern verwendet. Die übliche Speisespannung beträgt 6 kV, in Einzelfällen auch 10 kV. Die Motoren werden in den Bauformen B3 oder D5 vollständig geschlossen mit ein- oder untergebaute Wasserkühler in explosionsgeschützter Bauweise „erhöhte Sicherheit“ ausgeführt. Bild 4 zeigt einen Drehstrom-Kurzschlußläufermotor für 4000 kW, 6 kV, 1490 U/min, Bauform B3, zum Antrieb eines Turboverdichters.

Bei Motoren dieser Leistung ist die dauernde Erhaltung der Betriebstüchtigkeit eine unabdingbare Forderung. Laufende Überwachung aller wichtigen Funktionen durch Meßgeräte, Gefahrmeldung bei Unregelmäßigkeiten und regelmäßige Revision sind notwendig und von besonderer Bedeutung. Im allgemeinen werden die Temperaturen der Ständerwicklung in allen drei Strängen und die Lagertemperaturen mit Widerstandsthermometern, die Kühlwassertemperatur am Ein- und Austritt sowie die Temperatur der Innenluft beim Austritt aus dem Kühler durch Kontaktthermometer überwacht. Strömungswächter überwachen den Spülöl- und den Kühlwasserdurchfluß. Die Wicklungsüberwachung wird erleichtert durch große Plexiglasdeckel in der Außen- und Innenverschalung und Beleuchtung des Wickelkopfraumes durch Leuchtstofflampen. Der herausgeführte Sternpunkt gestattet im Störfalle die rasche Eingrenzung eines Fehlers in der Ständerwicklung. In säuregefährdeten Betrieben werden die Klemmenkästen und die Mantelbleche des Motors aus V2A-Stahl hergestellt oder mit V2A-Stahl plattiert.

Während die schnell laufenden Motoren für den Antrieb von Turboverdichtern stets in eigenen Lagern laufen, werden die zum Antrieb von langsam laufenden Hochdruck-Kolbenverdichtern im Drehzahlbereich von etwa 100 bis 300 U/min verwendeten Motoren als Sattelmotoren gebaut und ihre Läufer auf die Kurbelwelle des Verdichters aufgesetzt. Erfordert der chemische Prozeß eine Drehzahlregelung, so werden Schleifringläufer mit dauernd aufliegenden Bürsten und verlustloser Scherbiusregelung verwendet. Auch diese Motoren werden völlig geschlossen mit ein- oder untergebauten Kühlern in explosionsgeschützter Bauweise, Schutzart erhöhte Sicherheit, mit fremdbelüftetem Schleifringraum (Ex) hergestellt.

Die Betriebssicherheit wird in der gleichen Weise überwacht wie bei den schnell laufenden Antrieben. Die Schleifringe laufen in einer vom übrigen Motorraum abgetrennten Schleifringkapsel, die fremdbelüftet wird und vor der Inbetriebsetzung des Motors mit frischem Kühlmittel durchzuspülen ist. Antriebsmotoren von Kolbenverdichtern in Stickstoff-Synthesebetrieben wurden bereits erfolgreich mit Stickstoff an Stelle von Luft als Kühlmittel betrieben. Stickstoff schließt die Gefahr eines Wicklungsbrandes fast völlig aus, so daß die Zerstörungen bei Isolationsdurchschlägen örtlich begrenzt bleiben und die Wicklungen leichter instand gesetzt werden können. Charakteristisch für alle langsam laufenden Antriebsmotoren ist das in Form von Zusatz-Schwungmassen oder Schwungrädern eingebaute Schwungmoment zum Ausgleich von Drehmomentschwankungen auf der Verdichterseite.

Bild 5 zeigt einen Drehstrom-Asynchron-Schleifringläufermotor für 1600 kW, 109 U/min, 6 kV, erhöhte Sicherheit (Ex) ef G3 für Stickstoff- oder Luftkühlung, Zusatz-Schwungmoment 950 tm<sup>2</sup>.

Häufig werden Asynchronmotoren den Synchronmotoren vorgezogen, weil sie bei Spannungssenkungen wieder selbst

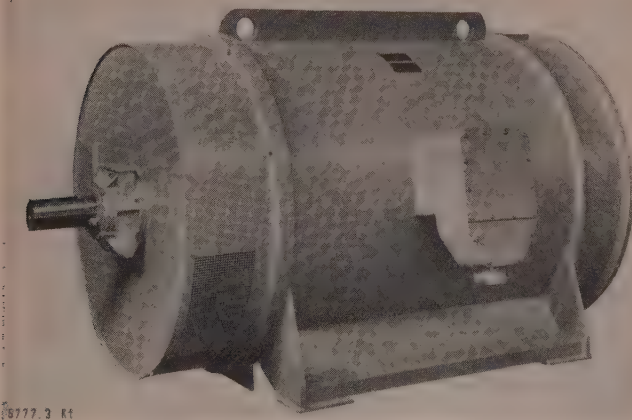


Bild 3. Mantelgekühlter Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motor 1200 kW, 1485 U/min, 6 kV.



Bild 4. Drehstrom-Kurzschlußläufer-Motor mit seitlich eingebautem Wasserkühler, 4000 kW, 6 kV, 1490 U/min, Bauform B3.





Bild 5. Drehstrom-Schleifringläufer-Motor mit eingebautem Schwungrad 950 tm<sup>2</sup>, 1600 kW, 109 U/min in Schutzart „erhöhte Sicherheit“, fremdbelüfteter Schleifringraum für Stickstoff- oder Luftkühlung.

ständig hochlaufen können, während der Synchronmotor außer Tritt fällt, abgeschaltet wird und neu angelassen werden muß.

### Schaltbeanspruchungen der Motoren

Im Chemiebetrieb sind oft Netzumschaltungen erforderlich. Da der Ausfall von wichtigen Antrieben bei Netzstörungen nicht tragbar ist, sieht man in diesen Fällen ein vom normalen, speisenden Netz möglichst unabhängiges Hilfsnetz vor, auf das die Motoren im Störfalle umgeschaltet werden. Die Motoren müssen daher so gebaut sein, daß die bei solchen Umschaltungen auftretenden hohen Beanspruchungen in zulässigen Grenzen bleiben.

Ist der Schalter am Speisepunkt eines Netzes, an das ein oder mehrere Asynchronmotoren angeschlossen sind, gefallen, so wird das Netz nicht sofort spannungslos. Die Spannung sinkt infolge der magnetischen Trägheit der Maschinen nur langsam auf Null ab. Eine für die Praxis geeignete Formel für die Abklingzeitkonstante soll nun bestimmt werden.

Die Zeitkonstante ist durch

$$T = \frac{L_0}{R'_2}$$

gegeben, wobei  $L_0$  die Leerlauf-Induktivität des Motors und  $R'_2$  der auf den Ständer bezogene Läuferwiderstand ist. Ist  $I_0$  der Leerlaufstrom des Motors bei Nennspannung und Nennfrequenz,  $U_N$  die Nennspannung und  $i_N$  die Nennfrequenz, so gilt mit guter Näherung je Phase

$$L_0 = \frac{1}{2\pi i_N} \cdot \frac{U_N}{I_0}$$

Weiter ergibt sich aus dem bekannten Zusammenhang zwischen Drehmoment, Läuferverlustleistung und Schlupf  $s$ :

$$3 R'_2 I_2'^2 = 3 U_N i_N \eta_N \cdot \frac{s}{1-s} \cos \varphi_N \quad \text{bzw.}$$

$$R'_2 = \frac{U_N I_N \eta_N \cdot \cos \varphi_N}{I_2'^2} \cdot \frac{s}{1-s}$$

Dabei ist  $I_2'$  der auf den Ständer bezogene Läuferstrom. Näherungsweise gilt, wenn die Phasenverschiebung des Rotorstromes gegen die Rotor-EMK vernachlässigt wird,

$$I_2'^2 \approx I_N^2 - I_0^2$$

Wenn man die obengenannten vier Gleichungen verbindet, ergibt sich

$$T \approx \frac{1-s}{s} \cdot \frac{1}{2\pi i_N} \cdot \frac{1}{\eta_N \cdot \cos \varphi_N} \cdot \frac{I_N}{I_0} \left[ 1 - \left( \frac{I_0}{I_N} \right)^2 \right]$$

Diese Formel ist für die Praxis gut geeignet, weil sie die bekannten Betriebsdaten der Maschine enthält. Infolge der

Vereinfachung ist die Berechnung zwar nicht exakt, da aber eine gekrümmte Kennlinie vorliegt und außerdem die Kupfertemperatur des Läufers die Zeitkonstante wesentlich beeinflusst, ist eine genauere Berechnung unnötig. Hier sei noch ein Zahlenbeispiel für einen Motor mit den folgenden Daten eingefügt:

$$\begin{aligned} i_N &= 50 \text{ Hz} \\ \cos \varphi_N &= 0,85 \\ \eta_N &= 0,92 \\ s &= 0,005 \quad (\text{Nennschlupf}) \\ I_N/I_0 &= 3 \end{aligned}$$

Daraus erhält man

$$T \approx \frac{0,995}{0,005} \cdot \frac{s}{314} \cdot \frac{1}{0,85 \cdot 0,92} \cdot 3 \left[ 1 - \left( \frac{1}{3} \right)^2 \right] = 2,15 \text{ s}$$

Man sieht also, daß die Abklingzeitkonstante in der Größenordnung von Sekunden liegt.

Wird das Hilfsnetz zu einem Zeitpunkt zugeschaltet, in dem die Motorspannung noch nahezu gleich dem Nennwert ist, wobei die Restspannung und die Spannung des Hilfsnetzes in Phasenopposition sind, so erreicht der Strom etwa den doppelten Wert des Anzugsstromes. Dabei steigen die auf die Wickelköpfe wirkenden Kräfte auf das Vierfache des Wertes bei normalem Hochlauf, was unter Umständen die Wicklungsabstützung überbeanspruchen kann. Ferner treten noch Drehmomente an der Welle auf, die das Doppelte des weiter unten betrachteten, bei dreiphasigem Kurzschluß auftretenden Wertes erreichen und somit die zulässige Torsionsbeanspruchung der Welle überschreiten können.

Entweder schaltet man daher das Hilfsnetz über ein Phasenvergleichsrelais zu oder man sorgt dafür, daß erst bei einer Restspannung zugeschaltet wird, die üblicherweise kleiner oder höchstens gleich 40 % der Nennspannung ist. Hierzu sind Überwachungsgeräte notwendig, welche die Netzumschaltung erst bei entsprechend gesunkener Restspannung ermöglichen, und man kann erst nach einer entsprechenden Pause umschalten. Auch in diesem Falle werden die auf die Wickelköpfe wirkenden Kräfte noch etwa doppelt so groß wie bei normalem Zuschalten im Stillstand. Solche für Netzumschaltung geeigneten Motoren werden daher mit verstärkter Wickelkopfabstützung ausgeführt, und sowohl die Welle als auch die Kupplung sind entsprechend zu bemessen.

Die Drehmomente, die zwischen Ständer und Läufer bei Schaltvorgängen auftreten, können, allgemein betrachtet, aus Anteilen mit zeitlich konstantem Wert und zeitabhängigen Gliedern bestehen, die nach Sinusfunktionen mit einfacher und auch doppelter Netzfrequenz verlaufen. Da der Ständer zusammen mit dem Fundament für solche Dreh-schwingungen ein System mit weit über der doppelten Netzfrequenz liegenden Eigenfrequenz ist, wirken diese Drehmomente in ihrer vollen Größe als Kräfte auf das Fundament. Der über die Welle mit der Arbeitsmaschine verbundene Läufer bildet ein torsionsschwingungsfähiges Gebilde, dessen Eigenfrequenz meist in dem Bereich zwischen der Frequenz Null und der doppelten Netzfrequenz liegt. In diesem System werden also beim Schaltvorgang Eigenschwingungen sowie erzwungene Schwingungen der einfachen und doppelten Netzfrequenz erregt. Eine genaue Nachrechnung muß ergeben, welche größten Wellenbeanspruchungen dabei entstehen und welche Eigenfrequenzlage erforderlich ist, um die Wellenbeanspruchung in zulässigen Grenzen zu halten. Die erregenden Drehmomente selbst sind weitgehend durch die Betriebs- und Anlaufdaten des betrachteten Motors bestimmt und können daher nicht verändert werden.

Wird z. B. ein Asynchronmotor an seinen Klemmen im Betrieb kurzgeschlossen, so entsteht ein Drehmoment, das sich entsprechend den von der Synchronmaschine bekannten Werten berechnen läßt. Da beim Kurzschlußvorgang die in der Rotorwicklung fließenden Ströme das Feld zunächst aufrechterhalten und die Rotorwicklung als Erregerwicklung



wirkt, ist für diesen Fall Übereinstimmung mit dem Verhalten der Synchronmaschine gegeben. Für das Kurzschlußdrehmoment der Synchronmaschine gilt bei dreipoligem Kurzschluß die Größengleichung:

$$M_{k3-pol} = \frac{P_{sN}}{x_d''} \cdot \frac{1}{\omega_0} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t).$$

Als Zahlenwertgleichung erhält man:

$$M_{k3-pol} = \frac{P_{sN}}{x_d''} \cdot \frac{975}{n_0} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t). \quad (1)$$

Hierin ergibt sich:

$M_{k3-pol}$  das Kurzschlußmoment in mkp, wobei einzusetzen ist

- $P_{sN}$  die Nennscheinleistung in kVA,
- $x_d''$  die subtransiente Reaktanz als Relativwert,
- $n_0$  die synchrone Drehzahl in 1/min,
- $f$  die Netzfrequenz in Hz und
- $t$  die Zeit in s.

Beim Asynchronmotor ist

$$P_{sN} = P_N / (\eta_N \cdot \cos \varphi_N).$$

Weiter kann man näherungsweise

$$1/x_d'' = I_k / I_N$$

setzen, mit  $I_k$  für den Kurzschlußstrom und  $I_N$  für den Nennstrom. Man erhält so für den Asynchronmotor<sup>1)</sup>:

$$M_{k3-pol} = \frac{I_k}{I_N} \cdot \frac{P_N}{\eta_N \cdot \cos \varphi_N} \cdot \frac{975}{n_0} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t). \quad (2)$$

Üblicherweise rechnet man die Beanspruchungen eines Asynchronmotors für den einphasig-zweisträngigen Kurzschluß im ungünstigsten Schalt Augenblick, für den sich in Anlehnung an die Synchronmaschine ergibt<sup>1)</sup>:

$$M_{k2-pol} = \frac{I_k}{I_N} \cdot \frac{P_N}{\eta_N \cdot \cos \varphi_N} \cdot \frac{975}{n_0} \cdot \left( + \sin 2\pi \cdot f \cdot t - \frac{1}{2} \sin 4\pi \cdot f \cdot t \right). \quad (3)$$

Das absolute Maximum dieses Ausdruckes ist<sup>1)</sup>

$$M_{k2-polmax} = 1,3 \cdot \frac{I_k}{I_N} \cdot \frac{P_N}{\eta_N \cdot \cos \varphi_N} \cdot \frac{975}{n_0}. \quad (4)$$

Alle abgeleiteten Formeln sind ohne Berücksichtigung des zeitlichen Anklingens der Kurzschlußströme ermittelt.

Diese allgemeinen Betrachtungen über das Kurzschlußmoment von Asynchronmotoren wurden eingeschaltet, um nun das Drehmoment bei einer Netzsicherung zu betrachten. Beträgt die Restspannung, bezogen auf die Nennspannung,  $x\%$  und wird gerade zu dem Zeitpunkt der Phasenopposition umgeschaltet, so wird der Strom etwa

1) Gl. (2) bis (5) sind wiederum als Zahlenwertgleichungen geschrieben mit den im Text unter Gl. (1) angegebenen Einheiten.

$(1+x/100)I_k$ ; das Drehfeld beträgt vor dem Zuschalten  $x/100$  vom Nennwert. Der Einfachheit halber wird nun angenommen, daß die zugeschaltete Nennspannung und die Restspannung frequenzgleich sind und außerdem das Schwungmoment der umlaufenden Teile so groß ist, daß die Phasenopposition erhalten bleibt. Würden diese Voraussetzungen nicht gemacht, so wäre die Betrachtung der Verhältnisse wesentlich unübersichtlicher, da dann ein Vorgang, der etwa einem Synchronisationsvorgang entspricht, auftreten würde.

Das Kurzschluß-Drehmoment ergibt sich als Produkt aus dem in der Maschine vorhandenen Feld und dem Kurzschlußstrom und wird somit<sup>1)</sup>

$$M_k = \frac{I_k}{I_N} \cdot \frac{P_N}{\eta_N \cdot \cos \varphi_N} \cdot \frac{975}{n_0} \cdot \frac{x}{100} \left( 1 + \frac{x}{100} \right) \sin 2\pi \cdot f \cdot t. \quad (5)$$

Aus der Gleichung ist zu ersehen, daß bei einer Restspannung von  $x = 40\%$  die Beanspruchung der Welle kleiner ist als beim einphasig-zweisträngigen Kurzschluß, für den die Welle, wie oben gesagt, gerechnet wurde. Würde aber bei  $100\%$  Restspannung umgeschaltet, so würde das Drehmoment wesentlich über den zulässigen Wert ansteigen.

Aus den Ausführungen geht also hervor, daß bei Netzsicherung sowohl mit Rücksicht auf die Wicklungsbeanspruchung als auch auf die Wellen- und Fundamentbeanspruchungen entweder die Restspannung begrenzt oder die Umschaltung von einem Phasenvergleichsrelais gesteuert werden muß.

### Zusammenfassung

Drehstrom-Asynchronmotoren sind als „Chemiemotoren“ in den letzten Jahren ständig weiter entwickelt worden. Oberflächengekühlte Motoren wurden als deutsche Normmotoren auch in explosionsgeschützter Ausführung, erhöhte Sicherheit genormt. Die Leistungen der mantelgekühlten Motoren wurde bis zu der durch das Luftströmgeräusch gezogenen Grenze gesteigert. Langsam und schnell laufende Verdichterantriebe wurden durch Verbesserungen der laufenden Überwachung und neue Konstruktionen den technischen und betrieblichen Forderungen angepaßt. Verwendet man kein Phasenvergleichsrelais zum Steuern der Netzsicherung und wird in Phasenopposition zugeschaltet, so entstehen für Fundament und Welle Beanspruchungen, die bei der Auslegung des Antriebs berücksichtigt werden müssen.

### Schrifttum

- [1] Egli, W.: Anforderungen der chemischen Industrie an die Elektromotoren. ETZ-A Bd. 76 (1955) S. 558-566.
- [2] Montsinger, V.: Die Temperaturbeanspruchung des Transformators. Trans. Amer. Inst. Electr. Engineers J. Bd. 49 (1930) S. 293-297.
- [3] Hosemann, G.: Phasengerechte Schnellumschaltung wichtiger Antriebe in Kraftwerken und Industrieanlagen. Elektrizitätswirtsch. Bd. 56 (1957) S. 149-153.
- [4] Böcker, H.: Sicherheit der Energieversorgung von wichtigen Betrieben in Kraftwerken und Industrieanlagen durch Schnellumschaltung. VDE-Fachber. Bd. 18 (1954) Teil II, S. 21-25.

## Ein Gerät für die elektronische Blutanalyse

DK 621.317.799 : 616.15-07

Die Hämatokrit-Reaktion ist eine klinisch wichtige Meßgröße, die als Ergänzung der Blutkörperchenzählung oder als deren Ersatz verwendet wird. Das übliche Verfahren zur Hämatokrit-Bestimmung beruht auf einer Sedimentation der roten Blutkörperchen in einer hochtourigen Zentrifuge. Das Volumen des geschlossenen Sediments als Prozentsatz von der Gesamtblutmenge wird Hämatokrit genannt. Diese Bestimmung erfordert einigen Aufwand und kann wegen der ortsfesten Zentrifuge nicht am Krankenbett durchgeführt werden.

Die Verfasser erläutern ein Gerät, das eine einfache elektrische Leitfähigkeitsbestimmung des Blutes ermöglicht<sup>1)</sup>. Da die Grundleitfähigkeit des zellfreien Blutplasmas sehr konstant ist, beruht jede elektrische Widerstandsvergrößerung auf dem Gehalt an roten Blutkörperchen, deren Membran fetthaltig ist und als Isolator wirkt, so daß eine Leitfähigkeits-Meßbrücke unmittelbar in Prozent Hämatokrit geeicht werden kann.

1) Okada, R. H., u. Schwan, H. P.: Electronic blood analyser. Electronics Bd. 33 (1960) S. 53-54; 2 B.

Der störende Einfluß der Temperatur wird durch einen NTC-Widerstand (Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizient) im entsprechenden Brückenweig korrigiert. Gespeist wird die Brücke mit Tonfrequenz aus einem Transistor-Oszillator; ein 10-µA-Wechselstrom-Anzeigegerät mißt den Diagonalstrom. Vor der Messung werden Nullpunkt und Empfindlichkeit kontrolliert.

Das Gerät ist handlich und seine Bedienung einfach, Vorteile, die seine Brauchbarkeit für klinische und ambulante Routinemessungen bedingen. Es gibt auch keinen Grund, an einer verhältnismäßig hohen Meßgenauigkeit zu zweifeln, da die Fehlerbreite bei Auszählung der Erythrozyten sehr erheblich ist. Der Aufwand bei der Auszählung und Hämatokritbestimmung durch Sedimentation beträgt ein Vielfaches dieses Verfahrens, das Aussicht hat, sich allgemein einzuführen. Natürlich ermöglicht das Gerät keine Analyse des Farbstoffgehaltes im Blut, der das einzig unmittelbare Maß für dessen Sauerstoff-Bindungsvermögen ist. Diese Bestimmung ist nur photometrisch durchführbar.

Myt



## KURZ BERICHTET

**Eine Fernseh-Sendeanlage**, die nur 100 000 DM kostet, stellt eine englische Firma her. Die Anlage ist bewußt einfach gehalten. Die Reichweite beträgt 24 km. Diese Anlagen werden in den Entwicklungsländern gebraucht, wo sie dem Unterricht und der Erwachsenen-Bildung dienen. *Rgs*

**Rund 900 000 unverkaufte Fernseh-Empfängergeräte** lagern bei englischen Händlern. Durch erhebliche Preisnachlässe bis 25 % konnte der Vorrat um rd. 100 000 Geräte seit Anfang dieses Jahres gesenkt werden. Etwa 90 % aller britischen Haushalte besitzen bereits ein Fernsehgerät. *r*

**Der dreimillionste Kühlschrank** wurde im Mai von der Robert Bosch GmbH fertiggestellt. *r*

**Die Kupfererzeugung in der Welt** mit etwa 4,5 Mio. t im Jahr übersteigt den derzeitigen Verbrauch um etwa 150 000 t/Jahr. *r*

**In Moskau arbeitet ein Farbfernseher** mit 100 W Bildträgerleistung nach dem kompatiblen NTSC-Verfahren. Wenn der neue 560 m hohe Fernsehturm fertiggestellt sein wird, soll die Bildträgerleistung auf 25 kW vergrößert werden. *r*

**Eine Uran-Raffinerie** mit einer Leistung von 100 t Uran im Jahr wurde in Johannesburg, Südafrika, in Betrieb genommen. Das Werk wird einheimische Erze verarbeiten. *r*

**Vorher ausgewählte Stellen einer Schallplatte**, ohne sie vorher erst suchen zu müssen, spielt ein Plattenspieler ab, den eine japanische Firma entwickelt hat. Das Gerät ist transistorisiert und hat Druckknopfbedienung. *Rgs*

**Eine Reihe Transistor-Empfänger eigenwilliger Konstruktion** hat eine japanische Firma für den Export in die USA herausgebracht. Drei Empfänger sind so klein, daß sie im Fuß einer Schreibtischlampe, eines Schreibtischkalenders oder eines Globus eingebaut werden können. *Rgs*

**Die Fernsehgeräte-Fertigung in Japan** stieg im Jahre 1960 um 26 % an. 3,6 Mio. Geräte wurden hergestellt. Während im Jahre 1959 etwa 67 500 Tonbandgeräte exportiert wurden, waren es im Jahre 1960 ungefähr 192 000 Stück, von denen der größte Teil in die USA ging. *Rgs*

**Das größte Radioteleskop der Welt** wird z. Z. in Arecibo in Puerto Rico gebaut. Der riesige, schüsselförmige Reflektor hat einen Durchmesser von 340 m. Die Antenne hängt an einer Bühne 231 m über der Mitte des feststehenden Reflektors. Sie kann um  $\pm 20^\circ$  verschoben werden, so daß man einen Himmelsausschnitt von rd.  $40^\circ$  erfassen kann. Die Anlage kann sowohl passiv als Radioteleskop als auch aktiv als Sendeanlage verwendet werden. *r*

**Ein 700-MW-Kernkraftwerk**, welches das größte der Welt sein wird, will der Staat Washington (USA) in der Nähe der Stadt Hanford errichten. *r*

**Die amerikanische elektronische Industrie** steht drei Schwierigkeiten gegenüber: Das gegenwärtige System der Sender-Frequenzverteilung stammt aus dem Jahre 1934, wobei damals 95 % aller heutigen Sendedienste nicht vorhanden waren; zweitens ist die Konkurrenz der japanischen Importe stark, denn die japanischen Löhne betragen nur 17 % der amerikanischen und drittens sind die Preise und Gewinne einem starken Druck ausgesetzt. *Rgs*

**Ein Leistungsmesser** bis 1 GHz in sechs Frequenzbereichen und mit sieben Leistungs-Meßbereichen bis zu 1 kW hat eine amerikanische Firma entwickelt. Der Fehler beträgt  $\pm 5\%$  vom Skalen-Endwert. Zur Messung wird das Gerät in einen Hohlleiter eingesetzt. *Rgs*

**Miniatur-Relais** mit etwa 13 mm Kantenlänge stellt die Hi-G Inc. in USA her. Das neue Relais eignet sich besonders für gedruckte Schaltungen auch unter erschwerten Umgebungsverhältnissen. Die Anschlüsse entsprechen den amerikanischen Matrizen-Normen. Der größte Schaltstrom beträgt 1 A. Das Relais ist geeignet für Umgebungstemperaturen von  $-65$  bis  $+125^\circ\text{C}$ . Die Festigkeit gegen mechanische Beanspruchungen ist besser als die gegenwärtigen amerikanischen Matrizen-Normen verlangen. *Rgs*

**Einen Meßverstärker mit 400-M $\Omega$ -Eingangs-Impedanz** hat die Keithley Instruments entwickelt. Er ist besonders geeignet für Geber mit hohem Innenwiderstand, z. B. piezoelektrische Geber. Zwei Bandbreiten von 2 Hz bis 150 kHz und 2 Hz bis 1,7 MHz sind wählbar. Die Verstärkung ist zwischen 0,1 und 1000 in dekadischen Stufen einstellbar. Die Eingangskapazität beträgt 3 pF. *Rgs*

**Ein Zählgerät bis 100 MHz** ist von der Eldorado Electronics gebaut worden. Das voll transistorisierte Gerät ermöglicht Zeitmessungen bis 10 ns, ferner Frequenzmessungen ohne Überlagerung bis 100 MHz. Anwendung als Intervall-Zeitmesser mit besonderem Oszillator als Vergleichsquelle ist möglich, bei Frequenzmessungen ist eine besondere Zeitbasis erforderlich. *Rgs*

**Zenerdioden** mit 1,25 mm Dmr., die in warmfestem Glas gekapselt sind, hat die Transitron Electronic Corp. entwickelt. Acht verschiedene Typen werden hergestellt. *Rgs*

**Die erste Fabrik der Welt für die Massenherstellung von Quarzkristallen** wurde kürzlich in den USA in Betrieb genommen. Die Kristalle, die vor allem in der Nachrichtentechnik verwendet werden, sollen die USA von Einführen unabhängig machen. In der Fabrik werden Kristalle gezüchtet, die größer, gleichmäßiger und reiner als die Naturerzeugnisse sind. Selbst von guten Naturquarzen kann man in der Regel nur 3 % für elektronische Zwecke verwenden, so daß 1 g eines fertigen technischen Quarzes zwei- bis dreimal teurer als Gold ist. Es dauert ungefähr 3 Wochen, bis Kristalle ausreichender Größe in den rd. 3 m langen Kesseln unter hohem Druck bei rd.  $350^\circ\text{C}$  gewachsen sind. *r*

**Nach einer neuen Technik für den Aufbau von Transistoren** wird die Oberfläche des Halbleiters oxydiert, bevor unter der schützenden Oxydhaut die Diffusions-Schicht erzeugt wird. Dieses Verfahren, das die Lebensdauer erheblich verlängert, ist zwar bereits seit einiger Zeit in der Theorie bekannt, doch wird die Fairchild Semiconductor Corp. die erste Firma sein, die das Verfahren kommerziell verwendet. Verunreinigungen können die wirksamen Schichten weder während des Fertigungsvorganges noch später erreichen. Es handelt sich bei den Fairchild-Transistoren um Silizium-Typen in Planar-Ausführung. *r*

**Ein Miniatur-Tonbandgerät** von nur  $5\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 12,5\text{ cm}$  Abmessungen bei 870 g Gewicht hat die Firma Precision Instrument Co. entwickelt. Der Frequenzbereich geht von 100 bis 5000 Hz, und der Frequenzgang ist innerhalb einer Verstärkung von  $\pm 3\text{ dB}$  linear. Die Aufnahmezeit beträgt bis zu einer Stunde bei einer Bangeschwindigkeit von rd. 47 mm/s. Der Leistungsverbrauch ist 0,75 W, der aus Quecksilberzellen gedeckt wird. *Rgs*

**Kassetten-Tonbandgeräte** setzen sich aus Rationalisierungsgründen bei den amerikanischen Rundfunksendern immer mehr durch. Es wird mit Kassetten gearbeitet, die eine Sprechzeit von wenigen Sekunden bis zu 31 Minuten gestatten. Mit 55 Kassetten kann ein 24-Stunden-Programm abgespielt werden. Immer wiederkehrende Ansagen werden grundsätzlich von Kassetten abgespielt. *Rgs*

**Eine als „Sprach-Kompressor“** bezeichnete Anlage ist in den USA entwickelt worden. Sie dient zum Einsparen von Bandbreite für Sprach-Übertragungen. Die Sprache wird auf ihre Grundfrequenzen reduziert und dann mit einem Impulscode übertragen. *Rgs*

**Für Stereo-Rundfunksendungen** hat die amerikanische Fernmeldebehörde die Sendegenehmigung ab 1. Juni 1961 erteilt. Bei den Sendungen muß ein Verfahren benutzt werden, das mit Haupt- und Hilfstäger im Multiplex-System arbeitet. *Rgs*

**Farb-Fernsehgeräte** in Reihenfertigung stellt im kommenden Herbst die amerikanische General Electric Co. her. Damit ist sie die dritte Firma neben RCA und Zenith, welche die Serienfertigung aufnimmt. In den vergangenen sieben Jahren wurden nur etwa 500 000 Farb-Fernsehgeräte verkauft, weniger als 1 % aller Fernsehempfänger in den USA. *Rgs*

**Vorrichtungen für ein Stereo-Fernsehen** an vorhandenen Anlagen sollen in Amerika entwickelt worden sein. Die Fernsehkamera benötigt ein optisches Vorsatzgerät. Für die Bildröhre ist eine besondere Glasplatte und für den Betrachter eine Polarisationsbrille erforderlich. *Rgs*

**Einen Gleichstromverstärker** mit 30 000-facher Verstärkung hat eine amerikanische Firma herausgebracht. Der Eingangsstrom beträgt  $10^{-10}\text{ A}$  und die Rauschspannung liegt im Frequenzbereich 0 bis 1000 Hz unter  $10^{-6}\text{ V}$ . Die Wanderung des Meßwertes liegt über einen langen Zeitraum unter  $10^{-3}\text{ V}$ . *Rgs*



## RUNDSCHAU

DK 621.311 : 534.83

**Lärmbekämpfung in Kraftwerken.** Nach Möschler, W.: Energie-Techn. Bd. 10 (1960) S. 346–354; 16 B., 33 Qu.

In dem vorliegenden Aufsatz werden an Hand von 33 Schrifttumsstellen, die in der Mehrzahl sich auf Arbeiten erstrecken, die in der Bundesrepublik ausgeführt wurden, Überblicke über den augenblicklichen Stand der Lärmbekämpfung in Kraftwerken gegeben.

Nach den physikalischen Begriffen und den physiologischen Grundlagen werden Beispiele von Messungen gegeben. Die in die Geräuschspektren eingezeichneten sogenannten Geräuschstufen zeigen, welche Geräuschanteile besonders unangenehm sind. Sie geben den Herstellern der Maschinen Hinweise, wie sie ihre Erzeugnisse vom Geräuschstandpunkt aus vorzugsweise verbessern sollten.

Unter den Maßnahmen zur Lärminderung wird ausführlicher auf solche an Ventilen, Ventilatoren, Rohrleitungen und an Getrieben mit einzelnen Beispielen eingegangen. Die Luft- und Körperschalldämmung wird kurz gestreift. Wenn sich technisch und wirtschaftlich keine Möglichkeit ergibt, den erzeugten Luftschall vom Gehör des Arbeiters fernzuhalten, sind individuelle Hörschutzmittel anzuwenden. Damit sie auch wirklich getragen werden, ist noch Aufklärungsarbeit nötig, da nach Eingewöhnung auch mit ihnen eine Geräuschüberwachung der Betriebsanlagen möglich ist. Die Lärmnormativen der Sowjetunion sind genannt. Ein Hinweis auf die VDI-Richtlinien 2058: „Beurteilung und Abwehr von Arbeitslärm“, die der Industrie zum ersten Male zahlenmäßige Unterlagen und Empfehlungen für Lärmbekämpfungsmaßnahmen geben, ist nicht vorhanden.

Lk

DK 621.3 : 63(489)

**Elektrifizierung der dänischen Landwirtschaft.** Nach Enegreen, E.: Elektr.-Verwert. Bd. 35 (1960) S. 337–341; 7 B.

Nach dem Bericht ist zur Zeit ein Viertel der Bevölkerung Dänemarks in der Landwirtschaft tätig. Landwirtschaftliche Erzeugnisse sind mit 57% am Export des Landes beteiligt. Die Rationalisierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft sind deshalb für die gesamte Wirtschaft des Landes von größter Wichtigkeit. Die Bedeutung der Elektrizität als Betriebsmittel wurde schon sehr früh erkannt.

Das den Dänen schon vor der Jahrhundertwende vertraute Genossenschaftswesen trug sehr viel zu einer frühzeitigen Elektrifizierung des Landes bei. Heute noch versorgen Genossenschaften das Land mit wenigen Ausnahmen mit Strom. Da Dänemark nur über geringe Wasserkräfte verfügt, wird der Strom vorwiegend in Dampfkraftwerken erzeugt. Neuerdings werden auch von dem an Wasserkraftreichtum reichen Nachbarland Schweden erhebliche Energiemengen importiert. Wie in der Bundesrepublik so ist auch in Dänemark die Verbrauchsspannung 380/220 V.

Bei der Betrachtung der elektrischen Ausrüstung eines dänischen Großbetriebes mit 215 ha Betriebsgröße, fällt auf, daß die installierten Heißwasserspeicher mit 30 bis 80 l Inhalt nur eine Leistung von 0,45 bis 1,1 kW haben. Geräte mit 100 bis 150 l Inhalt werden mit 1,5 bis 2,1 kW an das Drehstromnetz angeschlossen. Diese Geräte sind dauernd eingeschaltet, wobei ein Thermostat die Wassertemperatur auf etwa 80 °C begrenzt. Ein verbilligter Arbeitspreis während der Nachtzeit ist im allgemeinen nicht üblich.

Auch die dänische Landwirtschaft hat ein innerbetriebliches Transportproblem. Selbst Betriebe mit eigenen Mähdreschern arbeiten vorwiegend mit Förderbändern, die nach Ansicht der dänischen Fachleute der pneumatischen Förderung vorzuziehen sind. Da in der Bundesrepublik die pneumatische Förderung mit zum Teil sehr hohen Anschlußwerten bevorzugt wird, wäre ein Studium der dänischen Lösungen sowohl für die deutsche Landwirtschaft wie auch für die Energie-Versorgungs-Unternehmen interessant.

Eine Untersuchung von 375 dänischen Betrieben zeigt, daß sich der dänische Landwirt in bezug auf Stromverbrauch je Hektar und Jahr mit 165 kWh mit seinen deutschen Kollegen messen kann. Die Elektrizitätsanwendung ist hier genau so vielseitig wie dort. Pumpstationen zum Ent- und Bewässern von Äckern und Wiesen tragen erheblich zur Ertragssteigerung bei. Auch die dänischen Elektrizitätsversorgungs-Unternehmen beobachten einen allgemeinen Anstieg der Geräteanschlüsse und des Stromverbrauchs in Haushalt und Landwirtschaft.

Viele dänische Bauern haben allerdings die Vorteile einer intensiven Elektrizitätsanwendung noch nicht erkannt. Deshalb haben die EVU, die Gerätehersteller und die Elektro-Installateure einen „Verein für rationelle Elektrizitätsanwendung“ gegründet. Dieser Verein schafft Werbe- und Aufklärungsmaterial, organisiert Ausstellungen und Vorführungen, um die Stromabnehmer mit den Elektrizitätsanwendungs-Möglichkeiten bekanntzumachen, aber auch um auf die Installationsvorschriften hinzuweisen.

Hrr

DK 621.317.384.015.532 : 621.315.1.027.86(71)

**Untersuchungen des Störpegels von Höchstspannungsleitungen in Ontario.** (Radio interference studies for extra-high-voltage lines in Ontario.) Nach Reichmann, J., u. Leslie, J.R.: Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. (III) (Power App. & Syst.) Bd. 79 (1960) S. 153–160; 12 B., 1 Taf., 11 Qu.

Der Bericht bringt erste Ergebnisse von der Coldwater-Versuchsanlage, die von der Hydro-Electric Power Commission of Ontario, Toronto (Kanada) aufgebaut worden ist, um Koronaverluste und Störfeldstärken von Hochspannungsleitungen bis 600 kV zu untersuchen. Einleitend wird ausgeführt, daß einer der wesentlichsten Gründe für den Aufbau der Versuchsanlage eine gewisse Unsicherheit in der Beurteilung der Störfeldstärke von Hochspannungsleitungen war, insbesondere sei der Zusammenhang zwischen der Störfeldstärke und der Oberflächenfeldstärke von Leitern einer Hochspannungsleitung nicht genügend geklärt. Zur Begründung werden in einer Tafel Ergebnisse von Messungen in England, Kanada, USA und Deutschland miteinander verglichen. Dann wird die Versuchsanlage beschrieben und insbesondere auf die sorgfältige Abschirmung der Armaturen zum Vermeiden von Entladungen und auf die Auswahl geeigneter Isolatoren hingewiesen.

Auf Grund dieses Vergleiches wird zum Ausdruck gebracht, daß eine effektive Oberflächen-Feldstärke von 18 kV/cm oder gegebenenfalls auch höher vom Standpunkt des Störpegels aus für Kanada durchaus zulässig wäre. Man kommt sogar zu der Auffassung, daß nicht so sehr der Störpegel, als vielmehr die durchschnittlichen jährlichen Koronaverluste die zulässige Oberflächen-Feldstärke bestimmen. Dabei wird zugegeben, daß nach Feststellung in anderen Versuchsanlagen die durchschnittlichen jährlichen Koronaverluste bei den üblichen Oberflächen-Feldstärken wirtschaftlich ohne Bedeutung sind.

An Hand der ersten Messungen von Frequenzspektren der HF-Störfeldstärke an der Versuchsleitung und deren Vergleich mit Messungen an Betriebsleitungen wird festgestellt, daß die Höhe des Störpegels dieser rd. 1,25 km langen Versuchsleitung nicht wesentlich von dem Störpegel langer Leitungen gleicher Oberflächenfeldstärke abweicht, wenn man für die Versuchsleitung das geometrische Mittel zwischen Größt- und Kleinstwerten der Meßergebnisse nimmt. Diese Frequenzspektren wurden öfters bei trockenem Wetter aufgenommen, wobei sich eine Streuung von rund  $\pm 5$  dB ergab.

Bereits diese ersten Messungen bringen schon interessante Ergebnisse. Hervorzuheben ist ganz besonders die Sorgfalt, die darauf verwendet worden ist, die Versuchsleitungen an ihrem stationsseitigen Ende durch Sperrkreise von der Starkstromanlage zu trennen. Das Ergebnis dieser Sorgfalt sind Frequenzspektren mit einem klaren Kurvenverlauf zwischen Größt- und Kleinstwert; ansonsten stimmen sie mit schon bekannten Frequenzspektren von anderen Versuchsleitungen überein. Die Beurteilung der gemessenen absoluten Größe des Störpegels der Leiter aus den wiedergegebenen Meßwerten ist nicht möglich, da die Verfasser leider nicht die Meßabstände zwischen Leiter und Antenne angeben, so daß daher die Werte nicht mit anderen Messungen verglichen werden können. Eine weiter wohl auch zu erwartende Voraussetzung bei dem Betrieb von Hochspannungsleitungen ist, daß die Armaturen und Isolatoren einer Hochspannungsleitung so gewählt werden, daß ihre Korona später als an den Leiterseilen beginnt. Nur solche Leitungen sollten für einen Vergleich herangezogen werden.

Einen gewissen Widerspruch stellt die Einleitung des Aufsatzes und die darin gebrachte Tafel über Messungen an verschiedenen Leitungen mit eigenen Feststellungen der



Verfasser dar. In dieser Tafel werden Momentanwertmessungen der Störfeldstärke verschiedener Leitungen bei gleichen oder unterschiedlichen Oberflächen-Feldstärken gegenübergestellt und aus ihren Abweichungen der Schluß gezogen, daß der Zusammenhang zwischen Oberflächen-Feldstärke und Störfeldstärke einer Leitung noch weitgehend ungeklärt ist.

Abgesehen davon, daß unterschiedliche Meßabstände zwischen Leiter und Antenne einen erheblichen Einfluß auf die gemessene Größe haben können, wird von den Verfassern selbst gezeigt, daß bei trockenem Wetter die Meßwerte im Bereich von  $\pm 5$  dB schwanken können, und in diesem Bereich liegen vorwiegend die wiedergegebenen Messungen. Ein allgemeingültiger Vergleich ist daher nur auf Grund einer Dauermessung möglich, die statistisch ausgewertet worden ist. Aus diesem Grunde hat auch CISPR für den Vergleich von Störpegelwerten von Hochspannungsleitungen die Angabe eines Mittelwertes und der Streuung (5 bis 95 %) aus einer Großzahl von Meßwerten (Dauermessung) empfohlen.

Bst

DK 621.397.331.24

**Bildröhre mit Strahlablenkung.** (The reflected-beam Kinescope.) Nach Law, H. B., u. Ramberg, E. G.: Proc. Inst. Radio Eng. Bd. 48 (1960) S. 1409–1417; 11 B.

Die Verfasser berichten über Versuche zum Entwickeln einer Bildröhre, welche die bisher üblichen Vorstellungen eines Fernsehempfängers durch eine revolutionierend kurze Röhrenlänge völlig umgestalten könnte. Dazu wird ein konvex gekrümmter Leuchtschirm benutzt, der hinter einem ebenfalls konvex gekrümmten Bildfenster liegt (Bild 1). Das Strahlerzeugungssystem ist im Verhältnis zum Leuchtschirm-Durchmesser sehr kurz; ein konventionelles, aber sehr kleines Ablenkjoch wird darüber geschoben.

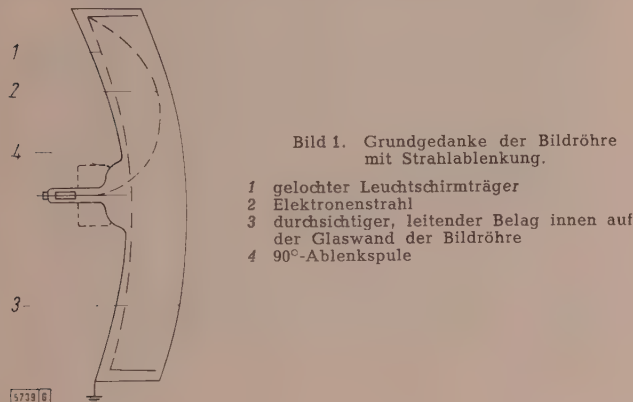


Bild 1. Grundgedanke der Bildröhre mit Strahlablenkung.

- 1 gelochter Leuchtschirmträger
- 2 Elektronenstrahl
- 3 durchsichtiger, leitender Belag innen auf der Glaswand der Bildröhre
- 4 90°-Ablenkspule

Das Joch und der Röhrenhals sind für einen Ablenkwinkel von 90° bei konventioneller Röhre geeignet. Aber bei dieser Röhre wird die Ablenkung vor dem Auftreffen auf den Leuchtschirm dadurch extrem vergrößert, daß die Elektronen in einer zentralen Zone den gelochten metallischen Leuchtschirmträger durchsetzen und zwischen Leuchtschirmträger und der gläsernen Röhrenabschlußwand in ein bremsendes Feld geraten, so daß die Elektronen auf Parabelbahnen zum Leuchtschirm zurückgebogen werden. Sie treffen ihn dann in wesentlich vergrößerter Entfernung von der Röhrenachse auf der dem Beschauer zugewandten Seite. Das führt zu gutem Detailkontrast und der Grobkontrast bleibt günstig, weil der störende Raster sich über eine große Fläche verteilt und die Störkomponente des Fluoreszenzleuchtens geringe Leuchtdichte hat.

(Viele Fragen bleiben bei dieser sehr problematischen Versuchsröhre offen. Bis zu einem gewissen Grade stellt die Röhre eine Weiterentwicklung eines anderen Typs dar, welche die Verfasser 1951 als Farbfernsehröhre angegeben haben. Auch dort wurde der Elektronenstrahl durch die Löcher eines Leuchtschirms geschickt und dann parabelförmig so auf den Leuchtschirm zurückgebogen, daß das entstehende Fluoreszenzleuchten auf der dem Beschauer zugewandten Seite des Schirmträgers entstand. Wie aber bei diesem letzten Typ eine Farbsteuerung bewerkstelligt werden soll, bleibt offen, und es ist fraglich, ob diese neue Versuchsröhre auch nur im Schwarz-Weiß-Fernsehen Bedeutung erlangen wird. D. Ref.)

Schw

DK 621.3.072.6

**Konstanthaltung niedriger Frequenzen mit Hilfe eines elektromechanischen Bandfilters.** Nach Odin, G.: Elektrik Bd. 14 (1960) S. 443–446; 11 B., 2 Qu.

In dem Aufsatz wird eine Anordnung beschrieben, welche die Regelung niedriger Frequenzen auf einen Sollwert bei sehr geringen Regelabweichungen gestattet. Nach einem Vorschlag von Hueber läßt sich die Meßgenauigkeit niedriger Frequenzen wesentlich steigern, wenn an Stelle der elektrischen Schwingkreise elektromechanische Schwingungssysteme treten, die mit einem Meßgerät zusammengeschaltet werden. Die Systeme wirken dabei wie Zweipole. Wenn mehrere elektromechanische Schwingkreise zu Vierpolen zusammengefaßt werden, läßt sich ein erweitertes Anwendungsgebiet, besonders für Regelaufgaben, erschließen.

Für dieses als frequenzbestimmendes Glied verwendete elektromechanische Bandfilter werden das Ersatzschaltbild und die Beziehungen zwischen den mechanischen und elektrischen Größen angegeben. In Verbindung mit einem phasenempfindlichen Gleichrichter werden die Abweichungen der Frequenz vom Sollwert in eine Spannung umgewandelt, die den Abweichungen in einem gewissen Bereich um den Sollwert proportional ist. Das Filter wirkt wie ein Diskriminator, der jedoch gegenüber den üblichen elektrischen Schaltungen die hohe Konstanz der mechanischen Schwingung aufweist. Diese Anordnung eignet sich deshalb zum Messen und Regeln von Frequenzen.

An Hand der Schaltung und des zugehörigen Zeigerdiagramms beschreibt der Verfasser die Wirkungsweise des Frequenz-Regelgliedes. Die Frequenzabhängigkeit der Ausgangsspannung ist für drei unterschiedliche Kopplungen des Bandfilters dargestellt. Auch bei verhältnismäßig großen Abweichungen von der Sollfrequenz muß noch eine ausreichende Regelspannung zur Verfügung stehen, um den Regelvorgang in Betrieb zu halten. Die Größe des hierdurch gegebenen Weitab-Bereiches läßt sich durch die Kopplung leicht verändern. Da die Einschwingzeit des Regelgliedes kleiner als die der geregelten Anordnung sein muß, werden die Abklingkonstanten möglichst groß gewählt. Dafür ist es erforderlich, die Kreisgüte niedrig zu halten. Um die Vorteile des mechanischen Schwingers voll ausnutzen zu können, ist es jedoch unerlässlich, daß die Größe der Verluste konstant ist. Da Änderungen der Verluste sich nur auf die Regelkennlinie, nicht aber auf die Frequenz auswirken, sind die Anforderungen an die Konstanz der Verluste nicht so hoch wie an die der Masse und der Federung. Als Beispiel wird die Frequenzregelung eines 6-kW-Drehstromgenerators gezeigt. Die dabei erzielte Konstanz der Generatorfrequenz beträgt etwa 0,1 Hz.

Hlk

DK 621.317.444 : 930.26 : 571.8

**Magnetische Untersuchungsmethoden bei archäologischen Forschungen.** Nach Schulze, R., u. Scollar, I.: Conti Elektrober. Bd. 6 (1960) S. 313–315; 4 B., 1 Taf., 3 Qu.

Es lag nahe, geophysikalische Meßinstrumente auch für die archäologische Forschung zu nutzen. Nach der Entwicklung eines handlichen Torsions-Magnetometers wurde das Verfahren an einem Meßbeispiel erläutert.

In Xanten, einer vor 1500 Jahren bedeutenden Stadt im römisch besetzten Germanien, war mit verschiedenen Verfahren die Lokalisierung der ehemaligen Stadtmauer und des Grabens bereits gelungen. Mehrere Profile wurden senkrecht zur bereits festgelegten Mauer aufgenommen. Das Torsions-Magnetometer enthält einen etwa zündholzkopfgroßen Magneten, der an feinen waagrecht gespannten Fäden aufgehängt ist. Die Torsion der Fäden ist ein Maß für die senkrechte Intensität des erdmagnetischen Feldes. Das Gerät wird auf einem Stativ aufgestellt. Eine Messung dauert etwa eine Minute, so daß ein Profil von 30 bis 40 m Länge in etwa einer Viertelstunde gemessen werden kann.

Man erkennt in den Meßergebnissen eine klare Markierung der Mauerreste und sieht auch eine Kennzeichnung des alten Stadtgrabens. Die verschiedenen Verwitterungszustände des Erdbodens sind entscheidend für die magnetischen Felddifferenzen. Das Verhältnis von magnetischen zu unmagnetischen Eisenoxiden ist je nach dem Grad der Humusbildung verschieden. Überall, wo mit einer wesentlichen Störung der normalen Bodenverwitterung durch menschliche Einflüsse zu rechnen ist, kann das Verfahren wahrscheinlich mit gutem Erfolg angewendet und die archäologische Forschung unterstützt werden.

Hö



## AUS DER INDUSTRIE

### Magnetische Blechstapler

DK 621.86.062 : 62-413/-415

Zum Transport großer Bleche wurden von der Demag-Zug GmbH, Wetter/Ruhr, magnetische Blechstapler entwickelt, welche die Bleche schonen. Hauptbauelement dieser Blechstapler sind Einzelmagnete von 260 mm Dmr. und 500 kg Tragfähigkeit. Ihre ringförmige Erregerspule mit 3750 Windungen ist in einem Stahlgußgehäuse untergebracht, das unten von einem Leichtmetallblech abgeschlossen ist. Der Magnet ist für 110 V Spannung bei 125 W Leistungsaufnahme bemessen und kann über einen Druckknopfschalter betätigt werden. Die Zubehörgeräte, wie das Netzschütz, Gleichrichter mit Transformator, Hilfsschütz und Klemmenkasten, sind im Schützkasten am Hebezeug untergebracht, von wo aus eine Kabelverbindung zum Magneten führt.

Die Einzelmagnete können baukastenartig in Verbindung mit Traversen zu Lastaufnahme-Einheiten verschiedener Größe zusammengefaßt und dadurch an die zu transportierende Blechgröße angepaßt werden (Bild 1). Kleinste Einheit zum Transport von Blechen bis zu etwa  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  ist der Einzelmagnet. Für Bleche mittlerer Abmessungen dienen Traversen mit 2 bis 12 Magneten und für größere Bleche bis zu  $3\text{ m} \times 15\text{ m}$  solche bis zu 16, 24 oder 36 Einzelmagneten in ein-, zwei- oder dreireihiger Bauart. Blechstapler bis zu 12 Magneten und mit Steuerung vom Boden aus sind für das Einhängen in einen Lasthaken vorgesehen, sie können aber auch an führerkorbgesteuerten Kranen verwendet wer-

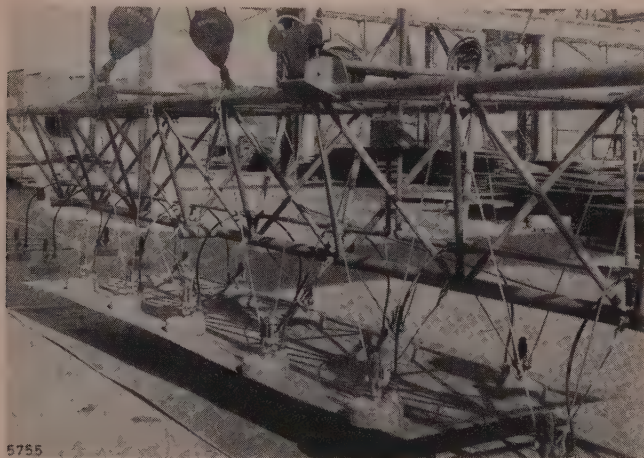


Bild 1. Magnetischer Blechstapler mit 14 Einzelmagneten.

den. Für größere Einheiten sind Zweischienenkatzen notwendig, da für das gleichmäßige Heben und Senken der Magnettraverse und zum Vermeiden ihres Pendelns eine besondere Aufhängung der Hubseile notwendig ist. Die Magnetspulen sind daher so geschaltet, daß wahlweise alle Magnete oder einzelne Magnetgruppen eingeschaltet werden können. Jeder Magnet läßt sich auch einzeln einschalten. Als Sicherung gegen die Folgen eines etwaigen Netzausfalls können die Blechstapler über eine Pufferbatterie gespeist werden.

ts

### Neue Kleinstmotoren

DK 621.313.3

Beim Automatisieren der Arbeitsvorgänge in der Verfahrenstechnik sind Einrichtungen zum Steuern, Regeln und Überwachen erforderlich, für deren Antrieb Kleinstmotoren mit geringen Leistungen benötigt werden. Die AEG hat deshalb eine Reihe neuer Kleinstmotoren für alle in Betracht kommenden Anwendungsgebiete entwickelt. Als Antrieb für Uhren, Zeitzähler und ähnliche Geräte, bei denen der Ablauf eine unbedingt konstante, von der Belastung unabhängige Drehzahl des Antriebsmotors voraussetzt, sind besonders die langsam laufenden Synchronmotoren mit einer Läuferdrehzahl von 375 U/min zu nennen. Der Typ SSLC hat ein Einlauf-Drehmoment von 0,4 pcm und eine Leistungsaufnahme von 1,8 W. Der Motor SSLB 375 hat ein größeres Drehmoment bei höherer Leistungsaufnahme und ist daher für den Antrieb von Steuerungen in Waschmaschinen, Weidezaungeräten, schreibenden Meßgeräten usw. geeignet.

Daneben werden auch schnellaufende Synchron-Kleinstmotoren mit einer Läuferdrehzahl von 3000 U/min hergestellt, die in Verbindung mit einem Untersetzungsgetriebe für verschiedene Ab-

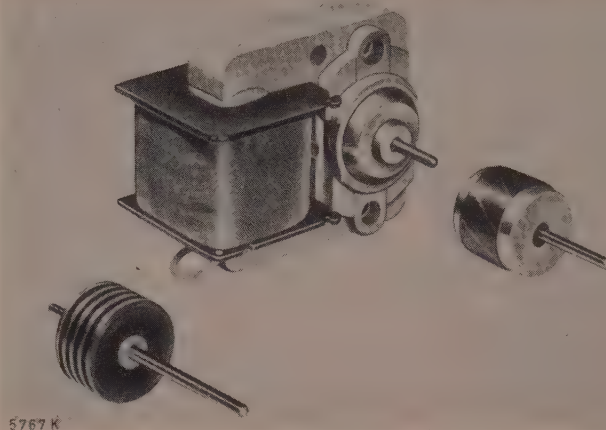


Bild 2. Kleinstmotor.

links: Synchron-Hystereseläufer rechts: Asynchron-Käfigläufer

triebsdrehzahlen lieferbar sind. Die guten Erfahrungen mit diesen schnellaufenden Synchronmotoren haben Veranlassung gegeben, eine neue Baureihe von zweipoligen Kleinstmotoren zu entwickeln. Bei dieser neuesten Typenreihe wurde berücksichtigt, daß in den Fällen, in denen auf den Synchronlauf verzichtet werden kann, die Verwendung von Asynchronmotoren vorteilhafter ist, da die von ihnen abgegebene Leistung bei gleicher Leistungsaufnahme und gleichen äußeren Abmessungen erheblich größer ist. Die Leistungsaufnahme beträgt je nach Motorgröße 4,5 bis 9 W, die abgegebene Leistung bei den Synchronmotoren 45 bis 450 mW, bei den Asynchronmotoren 520 bis 1270 mW.

Die Konstruktion dieser Motoren gestattet es, jeden Typ sowohl als Synchronmotor, also mit Hystereseläufer, oder als Asynchronmotor mit Kurzschluß-Asynchronläufer auszurüsten.

Der Synchronmotor hat einen Läufer aus einem hysteretischen Werkstoff, der aus 2, 3, 5 oder 7 Scheiben besteht (Bild 2). Durch günstige Abmessungen des Ständerpaketes wurden kleine Abmessungen und geringes Gewicht erreicht.

Auch der Läufer des Asynchronmotors hat wegen seines kleinen Durchmessers und seiner großen mit Aluminium gefüllten Nuten ein geringes Gewicht, daher ein geringes Trägheitsmoment und große Laufruhe. Der Blechschnitt ist hierbei für die gesamte Baureihe gleich. Unterschiede bestehen lediglich in der Ausführung der Kurzschlußringe und in der Anordnung der Lagerung. Der kleinste Motor dieser Reihe ist mit Kurzschlußringen aus Aluminium-Druckguß und mit Novotext-Lagern ausgestattet. Die größten Typen haben einstellbare Sinterlager mit Ölreserven. Bu

### Isolations- und Spannungsmesser

DK 621.317.735

Zum Prüfen elektrischer Geräte und Anlagen mit Betriebsspannungen bis 380 V dient das in Bild 3 dargestellte Meßinstru-

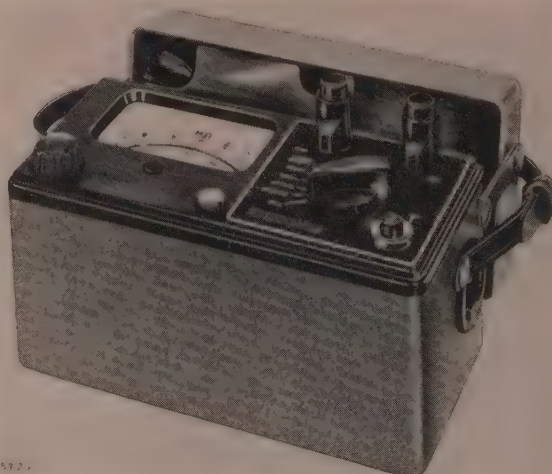


Bild 3. Isolations- und Spannungsmesser „Isolavi 6“.



ment der *Hartmann & Braun AG*, Frankfurt a. M. Der Isolationswiderstand wird mit einer Gleichspannung von 500 V gemessen, wobei am Prüfling auch dann noch die vorgeschriebene Spannung liegt, wenn der Isolationswiderstand nur den kleinsten zulässigen Wert von 1000  $\Omega/V$  hat.

Die Meßspannung wird einem eingebauten gasdichten Nickel-Kadmium-Akkumulator von 6,5 V entnommen und über einen Gleichstromwandler, bestehend aus Transistor-Zerhacker, Transformator und Gleichrichter mit Glättungskondensatoren, auf 500 V transformiert. Durch Niederdrücken eines Knopfes wird der Gleichstromwandler eingeschaltet, und der Widerstandswert kann an dem eingebauten Meßinstrument sofort abgelesen werden. Der Prüfling wird an Klemmen mit federnden Drucktasten angeschlossen.

Das Meßgerät hat ein eingebautes Ladegerät, daß das Nachladen des Akkumulators aus dem Lichtnetz ermöglicht. Es ist in einem Blechgehäuse mit aufklappbarem Deckel eingebaut und wird mit Umhängeriemen geliefert.

KH

## Neue Oszillographen

DK 621.317.755

Elektronenstrahl-Meßgeräte mit einer von Netzspannungsschwankungen unabhängigen Meßwertanzeige großer Genauigkeit durch elektronische Stabilisierung sämtlicher Spannungen, die auf das Meßergebnis Einfluß haben, sowie geeichte Ablenkfaktoren und



5766 K

Bild 4. Elektronenstrahl-Oszillograph Elograph E 330.

Zeitmaßstäbe wurden von der AEG als Elographen U 211, B 230 und E 330 entwickelt. Die bei diesen Geräten vorgesehenen Langlebensdaueröhren erhöhen die Betriebssicherheit und gewährleisten hohe Konstanz des eingestellten Ablenkfaktors.

Der Elograph U 211 ist ein kleiner Meß-Oszillograph mit einer Elektronenstrahlröhre von 7 cm Schirmdurchmesser. Das Gerät ist mit einem dreistufigen gleichspannungsgekoppelten Y-Verstärker mit 4 MHz Bandbreite ausgerüstet. Die volle Bandbreite kann bei allen Stellungen des in V/cm geeichten Stufenabschwächers ausgenutzt werden und gilt auch für die empfindlichen Bereiche bis 30 mV/cm. Die triggerbare Zeitablenkung, in ms/cm geeicht, ist auch für besonders langsam verlaufende Vorgänge geeignet. Der ebenfalls mit Gleichspannungsverstärker ausgeführte X-Verstärker kann für die Darstellung von Kennlinien benutzt werden.

Vielseitig verwendbar auf den Gebieten der Impuls- und HF-Technik ist der Elograph B 230. Es handelt sich hierbei um einen Breitband-Oszillographen mit einer neu entwickelten Elektronenstrahlröhre mit 13 cm Schirmdurchmesser. Die Bandbreite des gleichspannungsgekoppelten Y-Verstärkers beträgt 20 MHz. Mit einer eingebauten Laufzeitkette zur Signalverzögerung kann die vordere Flanke bei der Impulsuntersuchung vollständig abgebildet werden. Der vielseitig triggerbare Zeitablenkgenerator ermöglicht zusammen mit dem gleichspannungsgekoppelten X-Verstärker eine Zeitauflösung mit bis fünfzigfacher Dehnung bei guter Linearität. Mit einer einschaltbaren Auslösesperre wird eine einwandfreie Einzelauslösung erreicht auch bei komplizierten Signalformen, die mehrere Triggerimpulse liefern oder die sich wiederholen.

In Verbindung mit Meßumformern, z. B. Dehnungsmeßstreifen, ist der Elograph E 330 (Bild 4) besonders geeignet für die Darstellung mechanischer Größen sowie für alle Untersuchungen, bei denen nur kleine Spannungen zur Verfügung stehen. Das Gerät hat große Eingangsempfindlichkeit (Ablenkfaktor 0,2 mV/cm), ist mit einer 13-cm-Röhre sowie zwei gleichen Verstärkern ausgerüstet und hat einen triggerbaren Zeitablenkgenerator mit hervorragender Linearität. Die gleichspannungsgekoppelten Differenzverstärker für die X- und Y-Ablenkung zeichnen sich durch geringe Drift und einen sehr kleinen Meßfehler aus. Eine einschaltbare Sperre löst einwandfrei einen Zeitlinienablauf auch beim Eintreffen mehrerer Triggerimpulse aus.

Bu

## Neuer tragbarer Fernseh-Projektor

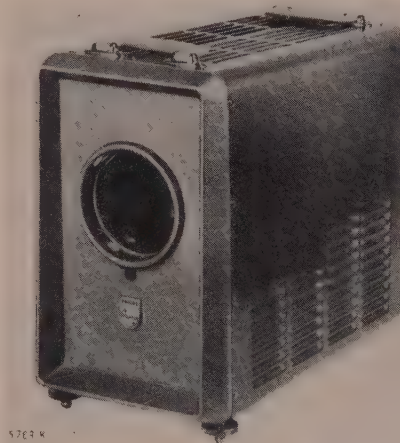
DK 621.397.62 : 535.88

Wenn eine größere Anzahl von Zuschauern an dem Empfang von Fernsehsendungen beteiligt ist, wie dies in Hörsälen von Universitäten und Hochschulen, in Gemeinschaftsräumen von Heilstätten, Gaststätten usw. vorkommt, so reicht die Größe der Bildschirme normaler Fernsehgeräte im allgemeinen nicht aus. Von der *Deutschen Philips GmbH*, Hamburg, wurde deshalb für diese Zwecke ein tragbarer Fernseh-Projektor neu entwickelt, durch den das auf der eingebauten Projektionsröhre erzeugte Bild von 35 mm  $\times$  46 mm mit Hilfe einer Schmidt-Optik auf 1,20 m  $\times$  1,60 m vergrößert und bei einem Projektionsabstand von 3 m im richtigen Seitenverhältnis von 3:4 auf einer Projektionswand wiedergegeben wird.

Alle elektrischen Anlagenteile des Gerätes sind in einem stabilen Stahlblechgehäuse in Kofferform (Bild 5) untergebracht. Durch die Anordnung der Bauteile wird erreicht, daß ein Luftstrom durch das Gerät hindurchströmt und die Bauteile kühlt. Eine Verstellvorrichtung am Gehäuse gestattet das Einstellen einer Neigung bis 15°, so daß auch auf eine höher liegende Bildwand projiziert werden kann.

Zur galvanischen Trennung des Gerätes vom Netz und zum Erzeugen der benötigten Betriebsspannung ist ein streuarmer Philbert-Transformator mit einer Leistungsaufnahme von 250 VA vorgesehen.

Die Grundsaltung des Empfängers entspricht im wesentlichen der Schaltung des Direktsichtempfängers, wobei auch die gedruckte Verdrahtung angewendet wird. Wegen der besonderen Anforderungen ist jedoch die Grundsaltung um einige wichtige Punkte erweitert. Die Netzwechselspannung wird mit Silizium-Dioden in Einwegsschaltung gleichgerichtet. Für die Fokusspule der elektromagnetisch fokussierten Bildröhre ist eine besondere Gleichrichterschaltung vorgesehen, die eine negative Spannung von 250 V liefert. Die automatische Nachregelung der Fokussierung wird dadurch erreicht, daß Spannungsänderungen, die sich bei schwankendem Strahlstrom durch Belastungsänderung der Hochspannungs-Endröhre und damit ihres Schirmgitterstromes bzw. der Spannung ergeben, der Regelröhre zugeführt werden. Die Anodenspannung von 25 kV für die Bildröhre wird von einem besonderen ölgefüllten, völlig gekapselten Transformator geliefert.



5766 K

Bild 5. Fernseh-Projektor.

Der Fernseh-Projektor hat Video-Fremdeingang, Ton-NF-Ausgang und einen Fernbedienungsanschluß. In Verbindung mit einem Kamerazug kann der Projektor auch Vorgänge wiedergeben, die durch die Kamera aufgenommen werden. Dieser sogenannte Kurzschlußbetrieb — das Fernsehsignal wird mit einem Kabel zugeführt — erschließt dem Projektor neue Anwendungsgebiete.

Fr



## VERBANDSNACHRICHTEN

## VDE

## Verband Deutscher Elektrotechniker

Frankfurt a. M. S 10, Stresemannallee 21

Fernruf: 60 341; Fernschreiber (Telex): 04-12 871;

Telegramm-Kurzanschrift: Elektrobund;

Postcheckkonto: Frankfurt a. M. 388 68.

## Entwurf VDE 0560 Teil 16/... 61

## „Regeln für Tantal-Elektrolytkondensatoren für Nennspannungen bis 1000 V“

Der VDE-FNE-Gemeinschaftsausschuß „Kondensatoren“ hat den Entwurf VDE 0560 Teil 16/... 61 ausgearbeitet.

Einzeldrucke dieses Entwurfes können unter der Bezeichnung VDE 0560 Teil 16/... 61 vom VDE-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, zum Preise von 1,50 DM bezogen werden.

Einsprüche gegen diesen Entwurf können bis zum 15. August 1961 der VDE-Vorschriftenstelle, Frankfurt a. M., Stresemannallee 21, eingereicht werden (doppelte Ausfertigung erbeten).

Der Vorsitzende des Gemeinschaftsausschusses VDE-Vorschriftenstelle  
Sträß Weise

## Einspruchsfristen zu Entwürfen von VDE-Bestimmungen

VDE 0750 Teil 12 Medizinische Röntgensätze

Angekündigt in ETZ-B Bd. 13 (1961) H. 8/9, S. 261

Einspruchsfrist bis 30. Juni 1961

## VDE-Verlag GmbH

Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33

Neu erschienen sind:

Verzeichnis der VDE-Vorschriften, Stand 1. Mai 1961,  
Verzeichnis der Entwürfe zu VDE-Vorschriften, Stand 1. Mai 1961,  
List of VDE-Specifications, revised April 1961.

Die genannten Verzeichnisse können kostenlos vom VDE-Verlag bezogen werden.

Ferner liegen folgende Übersetzungen von VDE-Bestimmungen ins Englische vor bzw. erscheinen in Kürze:

VDE 0105 Part 1/11.60 (Engl.)

Rules for the Operation of Electrical Power Installations,

Part 1 General Rules. .... DM 4,—

VDE 0250/11.60 (Engl.)

Specifications for Cables and Flexible Cords for Electric Power and Lighting. .... DM 11,20

VDE 0410/10.59 (Engl.)

Rules for Electrical Measuring Instruments. .... DM 6,40

VDE 0550 Part 1/3.59 (Engl.)

Specifications for Small Transformers, Part 1 General Specifications. .... DM 7,60

VDE 0550 Part 2...6 (Engl.)

Specifications for Small Transformers, Part 2...6 Special Specifications. .... DM 5,40

## Mitteilungen der VDE-Bezirksvereine

## VDE-Bezirk Schleswig-Holstein

Daß es sehr nützlich sein kann, die fachliche Vereinsarbeit durch persönlichen Kontakt zu vertiefen, bewies ein Ausflug, den der VDE-Bezirksverein Schleswig-Holstein am Himmelfahrtstage durchgeführt hat. Auf einer Fahrt zu Lande und zu Wasser, die als Ziel die Eidermündung hatte, konnten sich über 80 VDE-Mitglieder an der reizvollen Landschaft und so manchen kulturhistorischen Baudenkmälern erfreuen. Neben fröhlicher Geselligkeit kamen aber auch gute fachliche Gespräche, z. B. über das VDE-Vorschriftenwesen, zustande. Am 1. Juli ist ein Sommerausflug nach Dänemark geplant. VDE-Mitgliedern, die sich zwischen dem 18. und 25. Juni in Kiel aufhalten, ist Gelegenheit zur Teilnahme an Regattabegleitfahrten gegeben. Anmeldungen werden unter der Ruf-Nr. Kiel 5 11 02 02 erbeten.

## VDE-ZEICHEN-GENEHMIGUNGEN

70. Nachtrag zur Buchzusammenstellung nach dem Stande vom 1. 11. 1955 mit Sammelnachtrag nach dem Stande vom 1. 1. 1957

## Neu erteilte Genehmigungen

## Installationsmaterial



## Fassungen für Glühlampen

Bröckelmann, Jaeger &amp; Busse KG, Neheim-Hüsten

Dreiteilige Schraubfassung E 14, 2 A 250 V, aus Formstoff Typ MF, Einbaufassung mit zwei Zugentlastungsschrauben M 6 — Typ: 22.23.

Dreiteilige Schraubfassung E 27, 4 A 250 V, aus Formstoff Typ 31, Einbaufassung mit zwei Zugentlastungsschrauben M 6 — Typ: 22.31.

## Leuchtstofflampenfassungen

Bröckelmann, Jaeger &amp; Busse KG, Neheim-Hüsten

Starterfassung 2 A 250 V, Einbaubehör in abgedeckter Ausführung, aus Formstoff Typ 31, 131 oder 152 — Typ: 26.56.

Leuchtstofflampenfassung 2 A 250 V, Einbaubehör in abgedeckter Ausführung, aus Formstoff Typ 152 — Typ: 26.43.

Lenze KG, Neheim-Hüsten

Leuchtstofflampenfassung 2 A 250 V, Einbaubehör, abgedeckte Ausführung, aus Formstoff Typ 31 und 131 — Typ: 601.

## Verbindungsmaterial

W. Schneider &amp; Co, Altenkirchen/Westfalen

Leuchtenklemme 380 V, 2,5 qmm; 12-teilige beliebig teilbare Klemmleiste aus PVC — Typ: 241.

## Stecker

Gebrüder Berker, Schalksmühle

Stecker 15 A 380 V~, dreipolig mit Null- und Schutzkontakt (3 + 0 + E), nicht genormte Ausführung, registriert als System Nr. 38; Steckerkörper aus Formstoff Typ 31 und 131, axiale Leitungseinführung — Typen: SiSt 15 b, —w.

Stecker wie vor, jedoch mit seitlicher Leitungseinführung — Typ: SiWSt 15 b, —w.

N. V. Hollandsche Draad- und Kabelfabriek, Amsterdam/Holland

Schutzkontaktstecker 10 A 250 V/15 A 250 V~, wie bereits genehmigter Typ 8 010 238, jetzt auch mit zusätzlichem Buchsenkontakt für ausländische Schutzkontaktsysteme; in dieser Bauart als nicht genormte Steckvorrichtung registriert unter System Nr. 22 — Typ: 8 010 233.

Kurt Krakow, Berlin SO 36

Stecker 10 A 250 V/15 A 250 V~, zweipolig mit Schutzkontakt, nach DIN 49 441; aus Formstoff Typ 31, axiale Leitungseinführung — Typ: —.

Stolz-Kontakt GmbH, Heidelberg

Stecker 10 A 250 V/15 A 250 V~, zweipolig mit Schutzkontakt, nach DIN 49 443; Steckerkörper aus Formstoff Typ 71 oder 74, in druckwasserdichter Ausführung (Schutzart D); als Stecker mit Abschlußkappe oder als Flanschstecker mit Abschlußkappe — Typen: E 5488 Lstwi SS, —LFst.

## Wandsteckdosen

Stolz-Kontakt GmbH, Heidelberg

Wandsteckdosen 10 A 250 V/15 A 250 V~, zweipolig mit Schutzkontakt, nach DIN 49 442; Gehäuse aus Formstoff Typ 71 oder 74, in druckwasserdichter Ausführung (Schutzart D); als Flanschsteckdose mit einem oder zwei gegenüberliegenden Leitungseinführungsstutzen, als Wandsteckdose mit zwei Stutzen oder als Anbausteckdose, sämtliche mit Bajonettverschlußdeckel und Stopfbuchsenschraubungen PG 16 — Typen: E 5488 LGS, —LGSD, —LKS, —LFwi.

## Ortsveränderliche Steckdosen

Stolz-Kontakt GmbH, Heidelberg

Kupplungssteckdosen 10 A 250 V/15 A 250 V~, zweipolig mit Schutzkontakt, nach DIN 49 492; Gehäuse aus Formstoff Typ 71 oder 74, druckwasserdichte Ausführung (Schutzart D) — Typ: E 5488 LkuwigS.

## Installationsschalter

Dr. Deisting &amp; Co GmbH, Kierspe

Die bisher für den Nennbereich 15 A 250 V~ genehmigten einpoligen Aus-, Wechsel- und Kreuzschalter und zweipoligen Wechselschalter der Typenreihen 5131 (5136, 5137, 5139) sind jetzt auch für den neuen Nennbereich 10 A 250 V~ genehmigt — Typen: 5128 ..., 5129 ...

Gustav Giersiepen, Radevormwald

Die bisher für den Nennbereich 10 A 250 V genehmigten einpoligen Aus-, Serien-, Wechsel- und Kreuzschalter und zweipoligen Ausschalter mit Drehnebelbetätigung — Typenreihen: 350/1 (—/5, —/6, —/7, —/2) sind jetzt auch für den Nennbereich 6 A 250 V genehmigt — Typen: wie vor.

Richard Giersiepen, Bergisch-Born

Schalter 10 A 250 V~, einpolige Aus- oder Wechselschalter mit Wippenbetätigung; für Aufputz- oder Unterputzverlegung sowie für Einbau, mit Kappen oder einteiligen runden Abdeckplatten oder Zentraleinsatzplatten aus Formstoff Typ 31 oder 131 — Typen: 1470 N, 1474 N, 1474 NE (Ausschalter); 1471 N, 1476 N, 1476 NE (Wechselschalter).



**Geräteschalter (Einbauschalter)**

Varacca & Locatelli, Corsico-Milano (Italien)

Geräteeinbauschalter 2 A 250 V, wie bereits genehmigter Typ 1155, jetzt mit geändertem Schaltwerk auch genehmigt als — Typ: 1222.

**Schalter-Steckdosen-Kombinationen**

Albrecht Jung, Schalksmühle

Schalter-Steckdosen-Kombination 10 A 250 V~, für Unterputzverlegung; Steckdose zweipolig ohne Schutzkontakt, nach DIN 49 402, kombiniert mit einpoligem Aus- oder Wechselschalter mit Wippenbetätigung; gemeinsame Abdeckung durch einteilige rechteckige Platte aus Formstoff Typ 131 — Typen: 781 Uw, 786 Uw.

**Geräte****Leuchten (ortsfest)**

AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Hameln

Feuchtraumleuchten für Leuchtstofflampen 250 V; Gehäuse aus Formstoff in Schutzart P 43 (spritzwasser- und staubgeschützt); Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß) oder Klasse II (schutzisoliert); wahlweise zur Bestückung mit einer oder zwei Lampen 20 W, einer oder zwei Lampen 40 W oder einer Lampe 65 W in verschiedenen Schaltungen — Typen: 821-2702-00, -01, -10, -11, -30, -31, -32, -40, -41, -42, -60, -61, -62 (Schutzklasse I); 821-2703-00... (Schutzklasse II).

Leuchtstofflampenlichtleiste, Gehäuse aus lackiertem Stahlblech, abgedeckte Ausführung; Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß); wahlweise zur Bestückung mit einer oder zwei Leuchtstofflampen 20, 40 oder 65 W in verschiedenen Schaltungen — Typen: 821-2020-00, -10, -30, -32, -40, -42, -60, -62, -70, -72.

Wwe. Wilhelm von Hagen, Iserlohn

Rohrpendel- und Deckenleuchten wie bereits genehmigte Typenreihe 15 902... in geringfügigen Varianten auch genehmigt als Typen 45 021, 45 022, 45 049, 45 965.

Egon Hillebrand, Neheim-Hüsten

Wandleuchten 250 V, mit Metallfassung E 14, maximale Bestückung 40 W je Fassung, mit Zugschalter; Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß) — Typen: 84 121 F, 84 122 F, 84 121 E, 84 122 E, 84 291 C, 84 292 C, 84 292, 84 541, 84 441, 84 442, 84 581, 84 582, 84 542, 83 841, 83 842, 83 841 A, 83 842 A, 83 782, 83 782 A, 83 813, 83 813 A, 84 352 A, 84 291.

Wandleuchten wie vor, jedoch mit Kerzenschafffassungen E 14 — Typen: 84 041, 84 042, 84 532.

Wandleuchten wie vor, jedoch mit Metallfassungen E 27, 60 W — Typen: 83 761, 83 762, 83 461.

Wandleuchten wie vor (ohne Werkzeug abnehmbar mit zusätzlichem Berührungsschutz) — Typen: 83 541, 84 511, 85 511 R, 84 511 L, 84 511 R, 84 391 A, 84 513 A, 84 513, 84 571, 84 572, 82 992, 83 442, 83 212, 83 432, 81 952, 83 432 A, 84 312.

Wandleuchten wie vor, jedoch mit Gelenken und Metallschlaucharmen, Fassungen E 14 (40 W) — Typen: 83 191 C, 84 431, 84 411 A, 84 431 A, 84 401, 84 401 A, 84 481, 84 431 A.

Wandleuchten wie vor, jedoch E 27, 60 W — Typen: 84 451, 84 451 A, 84 451 B, 84 451 C.

Wandleuchten wie vor, jedoch mit fester Anschlußleitung NYLHY(PR) 3 × 0,75 qmm — Typen: 84 171, 84 461, 84 461 A, 84 461 B, 84 461 C.

Deckenkronen 250 V, mit Metallfassungen E 14, maximale Bestückung 40 W, zur unmittelbaren Befestigung an der Decke, mit Steg, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß) — Typen: 11 266, 11 268, 11 268, 11 200, 11 226, 11 220, 11 366, 11 368.

Deckenkronen wie vor, Befestigung an der Decke jedoch mittels Aufhänger, mit kurzem Pendelrohr — Typen: 11 215, 11 297.

Deckenkronen wie vor, jedoch mit Isolierstofffassungen an Kunststoffschlauchleitungen Typ NYLHY(PR) aufgehängt (wahlweise auch mit Metallfassungen) — Typen: 11 288, 11 185, 11 338.

Rohrpendelkronen 250 V, mit Metallfassungen E 14, maximale Bestückung 40 W, Befestigung an der Decke durch Aufhänger, mit Pendelrohr — Typen: 37 913, 37 916, 37 919, 38 085, 38 088, 38 646, 38 648, 38 716, 38 805, 38 825, 38 835, 38 910, 38 916, 38 918, 38 920, 38 926, 38 928, 38 945, 38 956, 39 005, 39 106, 39 108, 39 126, 39 128, 39 136, 39 145, 39 158, 39 200, 39 926, 39 928.

Rohrpendelkronen wie vor, jedoch wahlweise mit Isolierstofffassung E 14, Fassungen an kurzen Leitungsenden aufgehängt — Typen: 38 843, 39 056, 39 058, 39 052.

Rohrpendelkronen wie vor, jedoch mit Kerzenschafffassungen E 14 — Typ: 39 078.

Rohrpendelkronen wie vor, jedoch mit 3 Fassungen E 14, an Glas-Metall-Körper — Typ: 38 963.

Rohrpendelkronen wie vor, jedoch mit 1 Fassung E 27, maximale Bestückung 60 W — Typ: 29 961.

Schnurpendelleuchten 250 V, mit einer Metallfassung E 27, an Kunststoffschlauchleitung Typ NYLHY(PR) 3 × 0,75 qmm aufgehängt (wahlweise auch mit Isolierstofffassung E 27), Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß); maximale Bestückung 60 W — Typ: 38 861.

Schnurpendelleuchten wie vor, jedoch 100 W — Typ: 36 341.

Schnurpendelleuchten wie vor, jedoch 150 W — Typ: 37 051.

Schnurpendelleuchten wie vor, jedoch mehrflämmig, mit Fassungen E 14, maximal 40 W je Fassung — Typen: 38 693, 38 658.

Schnurpendelleuchten wie vor, jedoch maximale Bestückung 60 W — Typen: 37 851, 37 871, 37 001, 38 181, 38 261, 38 971, 38 191, 38 741, 37 191, 37 141, 37 731, 36 351, 25 221, 25 201, 25 231.

Schnurpendelleuchten wie vor, jedoch als Zuggpendelleuchten, mit Federzug in der Deckenkappe, Anschlußleitung NPL 3 × 0,75 qmm, Fassung E 27, maximale Bestückung 60 W — Typen: 25 051, 25 171, 25 111.

Kettenpendelleuchten 250 V, Metallfassung E 27, maximale Bestückung 60 W, Aufhängung an kurzem Pendelrohr mit Baldachin — Typen: 24 731, 24 951, 25 161, 37 231.

Kettenpendelleuchten wie vor, jedoch mit Metallfassungen E 14, maximale Bestückung 40 W je Fassung — Typ: 39 023.

Flämische Kronen (Stilkronen), 250 V, mit Kerzenschafffassungen E 14, maximale Bestückung 40 W, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), Aufhängung an der Decke durch kurzes Pendelrohr mit Baldachin — Typen: 31 030, 34 630, 36 908, 37 028, 37 518, 38 418, 38 503, 38 515, 38 568, 38 213, 38 215.

Deckenleuchten 250 V, Metallfassung E 27, maximale Bestückung 60 W, zur direkten Befestigung an der Decke auf Metallgrundplatte — Typen: 10 651, 11 341.

Deckenleuchten wie vor, jedoch mit Metallfassungen E 14, maximale Bestückung 40 W — Typen: 11 193, 11 353.

Deckenleuchten wie vor, jedoch zur Aufhängung an kurzem Pendelrohr mit Baldachin — Typ: 11 303.

Spiegelgleuchten (Wandleuchten) 250 V, mit 4 Metallfassungen E 14, je 40 W, auf Metallgrundplatte — Typen: 83 554, 83 115, 83 954, 84 554, 84 564, 84 594.

Heinrich Popp & Co, Röhrenhof, Post Goldmühl

Nurglasdeckenleuchten 250 V, E 14, 40 W, E 27, 60 W oder E 27, 75 W (je 1 Fassung) zur unmittelbaren Befestigung an der Decke auf Metallgrundplatte mit Abdeckschalen aus Glas — Typen: 2900, 2901, 2902, 2903.

Simon & Schelle oHG, Sundern/Sauerland

Rohrpendelkronen 250 V, Metallfassungen E 14, maximale Bestückung 40 W, Aufhängung an der Decke durch Pendelrohr mit Baldachin — Typen: 8451/6, 8452/8, 8453/10, 8484/12, 8455/6, 8456/8, 8457/10, 8458/12, 8459/10, 8460/6, 8461/8, 8462/8, 8463/12, 8468/6, 8469/8, 8470/3, 8471/5, 8472/6, 8473/8, 8476/5, 8477/7, 8478/8, 8479/6, 8480/8.

**Bügeleisen**

Rowenta Metallwarenfabrik GmbH, Offenbach/Main

Haushaltsregelbügeleisen 220 V~, 1000 W, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), Stahlblechgehäuse mit Griff aus Formstoff Typ 31: mit Temperaturregler 10 A 250 V, fester Anschlußleitung NSard 3 × 0,75 qmm und Schutzkontaktstecker — Typ: B 5293.

**Heißwasserbereiter (ortsfest)**

AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Nürnberg

Heißwasserspeicher (drucklos) 220 V, 2000 W, wie bereits genehmigter Typ 612 008 019; jetzt auch für 5 oder 10 Liter Nutzinhalt, für Montage unter oder über Tisch — Typen: 612 005 019, -020, 612 006 019, -020, 612 007 019 —020, 612 008 019, -020.

**Heißwasserbereiter (ortsveränderlich)**

AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Nürnberg

Wasserkocher wie bereits genehmigter Typ 613 150 100, jetzt in geringfügigen Varianten auch genehmigt als Typen 613 150 200, 613 151 200.

**Bratröster**

AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Nürnberg

Bratröster 220 V, 400 W, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), Gehäuse aus Stahlblech mit Teilen aus Formstoff Typ 31; mit fester Anschlußleitung NYLHY(PR) 3 × 0,75 qmm und Schutzkontaktstecker, mit Geräteeinbauschalter 2 A 250 V — Typ: 613 161 100.

**Temperaturregler und dergleichen**

Busch-Jaeger Dürerer Metallwerke AG, Lüdenscheid

Die bisher für den Nennbereich 15 A 380 V~ bereits genehmigten Temperaturreglerbegrenzer Typ 4812/1/2 sind jetzt auch für den Nennbereich 20 A 380 V~ genehmigt — Typ: wie vor.

Robertshaw-Fischer GmbH, Sulzfeld

Temperaturreglerbegrenzer 15 A 220/380 V~ — Typ: EA—G, sonst wie der bereits genehmigte Temperaturregler gleicher Typenbezeichnung.

**Staubsauger**

Gottlieb Grimmer, Stuttgart

Haushaltsstaubsauger wie bereits genehmigter Typ St 51 R, jetzt mit Nennleistung 225 W — Typ: St 56 RH/4.

Mauz & Pfeiffer, Stuttgart-Botnang

Haushaltsstaubsauger wie bereits genehmigter Typ Minor Super F, jetzt jedoch für Nennleistung 300 W, mit fester Anschlußleitung NYLHY(PR) 2 × 0,75 qmm und Konturenstecker nach DIN 49 406 — Typ: SM—G.

**Geräte zur Wäschebehandlung**

Bauknecht GmbH, Stuttgart

Vollautomatische Haushaltswaschmaschine 220 V~, 340 W (Waschmotor), 350 W (Schleudermotor), 2600 W (Heizung); Stahlblechgehäuse üblicher Bauart, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), spritzwassergeschützt, für ca. 3 kg Trockenwäsche; fester Anschluß, Funkstörgrad G eingehalten — Typ: WA 400.

Gebr. Scharpf KG, Stuttgart-Zuffenhausen

Waschmaschine wie bereits genehmigter Typ Plus 3, jetzt jedoch mit handbetätigtem Zeitschalter an Stelle des Programmschaltwerks und mit separatem Temperaturregler — Typ: Thermostatic T 51-Standard. Haushaltswaschmaschine wie bereits genehmigter Typ AW 54 S, jetzt jedoch mit handbetätigtem Zeitschalter an Stelle des Thermostatschalters — Typ: AW 55.



**Kühlschränke (Kompressorprinzip)***Elektrolux GmbH, Berlin-Tempelhof*

Haushaltskühlschrank 220 V~, 110 W; Stahlblechgehäuse üblicher Bauart, Nutzinhalt 150 Liter, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), mit Temperaturregler, Innenbeleuchtung, fester Anschlußleitung NMH  $3 \times 0,75$  qmm und Schutzkontaktstecker — Typ: S 51.

**Ventilatoren und dergleichen***Kurt Baeye, Berlin SW 61*

Händetrockner 220 V~, 1650 W, Stahlblechgehäuse, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), mit Geräteeinbauschalter mit Federuhrwerk, für festen Anschluß, Funkstörgrad N eingehalten — Typ: Baeye Super.

*Lunoslüftung Benno Schöttler KG, Berlin-Spandau*

Entlüftungsventilator 220 V~, 22 W, zum Einbau in Entlüftungsrohre, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), für festen Anschluß — Typ: Lunos-Superlüftung.

**Büromaschinen mit motorischem Antrieb***Triumph-Werke AG, Nürnberg*

Büroschreibmaschine 220 V~, 45 W; Stahlblechgehäuse üblicher Bauart, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), mit fester Anschlußleitung NYLHY(PR)  $3 \times 0,75$  qmm mit Schutzkontaktstecker; mit Anschlußmöglichkeiten für Diktiergeräte „Stenomatic“ und „Stenorette“; Funkstörgrad K 59 eingehalten — Typ: Triumph-Electric 20 StE.

Büroschreibmaschine 220 V~, 50 W; sonst wie vor — Typ: Matura-Electric L.

Büroschreibmaschine wie vor, jedoch ohne Anschluß für Diktiergeräte — Typ: Matura-Electric S.

*Adler-Werke AG, Frankfurt/Main*

Büroschreibmaschine 220 V~, 45 W; Stahlblechgehäuse üblicher Bauart, Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß), mit fester Anschlußleitung NYLHY(PR)  $3 \times 0,75$  qmm mit Schutzkontaktstecker; mit Anschlußmöglichkeiten für Diktiergeräte „Stenomatic“ und „Stenorette“; Funkstörgrad K 59 eingehalten — Typ: Adler-Electric-20.

**Elektrozaungeräte für Netzanschluß***Becker-Prünke GmbH, Datteln/Westfalen*

Elektrozaungerät für Netzanschluß 220 V~, tropfwassergeschütztes Gehäuse aus Leichtmetall; Impulsgeber: Relais mit Quecksilberschaltrohre; mit fester Anschlußleitung NYLHY(PR)  $3 \times 0,75$  qmm, mit Schutzkontaktstecker, Funkstörgrad N 59 eingehalten — Typ: N 220/6.

**Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen***Albert Germann KG, Neunkirchen, Krs. Siegen*

Drosselspulen für Leuchtstofflampen 220 V, 40 W, 0,430 A, 50 Hz, offene Ausführung, eine zweipolige Anschlußklemme, zum Betrieb mit Kompensationskondensator 3,75 µF, 380 V — Typ: K 40 X.

**Leitungen und Zubehör****Isolierte Starkstromleitungen**

(VDE-Kennfaden schwarz-rot)

*CEAT Societa per Azioni, Turin/Italien*

Mittlere Gummischlauchleitungen — Typ: NMH.

*Pirelli, S. p. A., Mailand/Italien*

Leichte Gummischlauchleitungen — Typ: NLH.

Starke Gummischlauchleitungen — Typ: NSH.

*Thomson-Houston, Paris/Frankreich*

Schweißleitungen — Typen: NSLF, NSLFF, NSLFFö, NSLFFu.

Starke Gummischlauchleitungen — Typen: NSH, NSHö, NSHu.

**Isolierte Leitungen und Kabel für Fernmeldeanlagen**

(VDE-Kennfaden schwarz-rot)

*Norddeutsche Kabelwerke AG, Berlin-Neukölln*

Innenkabel — Typ: IYYe.

**Installationsrohre***Wilhelm Hegler, Oerlenbach*

Ohne Werkzeug: biegbare Installationsrohre aus Kunststoff, gerillt, ohne Auskleidung, Verlegungsgruppen A und C, in leichter oder schwerer Ausführung (blau oder gelb), Nennmaße: 11 — 13,5 und 23 mm — Typen: L (leicht), S (schwer).

**Funk-Entstörung**

(Wegen Einführung des neuen Funkschutz-Zeichens und dessen Anwendungsbereich vgl. Veröffentlichung der VDE-Prüfstelle, Frankfurt am Main, und der Elektrotechnischen Prüfstelle, Berlin, in ETZ-A Bd. 82 (1961) H. 7, S. 221–222, vom 27. 3. 1961 und ETZ-B Bd. 13 (1961) H. 7, S. 161, vom 3. 4. 1961.)

**Bügeleisen***Gross AG, Schwäbisch Hall*

Haushaltsbügeleisen — Typen: 510, 510 G, 511, 511 G.

**Ventilatoren und dergleichen***Gross AG, Schwäbisch Hall*

Haartrockner — Typ: 895.

**Geräte zur Wäschebehandlung***Bauknecht GmbH, Stuttgart*

Vollautomatische Waschmaschine — Typ: WA 400.

*Scharpf KG, Stuttgart-Zuffenhausen*

Haushaltswaschmaschinen — Typen: HW 54 S und HW 55.

**Büromaschinen***Adler-Werke AG, Frankfurt/Main*

Büro-Schreibmaschine — Typ: Adler-Electric 20.

*Triumph-Werke AG, Nürnberg*

Büro-Schreibmaschinen — Typen: Triumph-Electric 20 StE und Matura Electric L.

(Einzelheiten über Aufbau und elektrische Daten der vorstehend erwähnten Geräte vgl. die entsprechenden Veröffentlichungen über Erteilung des VDE-Zeichens.)

**Gestrichene Genehmigungen**

Die hierunter aufgeführten Streichungen von Zeichengenehmigungen verstehen sich — soweit nicht im Einzelfall ausdrücklich etwas anderes angegeben ist — auf Genehmigungsausweise, die wegen Einstellung der Fertigung der bisher genehmigten Artikel oder wegen Übergang auf abgeänderte und inzwischen neu genehmigte Bauarten ungültig geworden sind.

**Installationsmaterial****Wandsteckdosen***Bayerische Elektrozubehör GmbH, Lauf*

Wandsteckdosen 10 A 250 V, zweipolig mit Schutzkontakt, nach DIN 49 440 — Typen: 2930 ... sind gestrichen.

*Heinrich Popp & Co, Röhrenhof, Post Goldmühl*

Wandsteckdosen 10 A 250 V/15 A 250 V~, nach DIN 49 440 — Typen: 731 ... und 732 ... sind gestrichen.

**Installationsschalter***AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Frankfurt/Main*

Tastschalter 250 V 60 W, für Imputzverlegung (ohne Typenbezeichnung) sind gestrichen.

**VERANSTALTUNGSKALENDER****Bielefeld:** VDE-Bezirk Westfalen-Ost, Bielefeld, Kavalleriestr. 26.

14. 6. 1961, 15.30: „Besichtigung des Beton- und Schleuderbetonwerkes J. Scheidt in Rinteln (Werk II)“.

**Bonn:** VDE-Bezirk Köln, Zweigstelle Bonn, Immenbergstr. 7–11.

13. 6. 1961, 19.00, Fernmeldeamt (Unterrichtssaal), Bonn, Reuterstr. 65, I. Stock links: „Ingenieuraufgaben an Energieverteilungs-Netzen in Übersee (Ergebnisse von Reisen durch Nordafrika, Süd- und Mittelamerika)“, Ing. H. E. Hage.

**Braunschweig:** ETV Braunschweig, Technische Hochschule, Pockelstr. 4.

15. 6. 1961, 20.00, Technische Hochschule, Hörsaal M1: „Stationärer Betrieb von Asynchronmotoren unter Sonderbedingungen“, Privatdozent Dr.-Ing. G. Looke, Berlin.

22. 6. 1961, 20.00, Technische Hochschule, Hörsaal M1: „Elektrische Gleichlaufschaltungen und deren Stabilität“, Dr.-Ing. W. Blase, Berlin.

29. 6. 1961, 20.00, Technische Hochschule, Hörsaal M1: „Die Anwendung von neuzeitlichen Halbleiter-Bauelementen in der modernen Regelungstechnik“, Direktor Dr.-Ing. J. Wetzger, Berlin.

**München:** ETV München, München 8, Rosenheimer Str. 5.

19. 6. 1961, 18.00, Deutsches Museum, Vortragssaal 2: „Seekabel und Satelliten als Mittel des weltweiten Nachrichtenverkehrs“, Dipl.-Ing. Rudolf v. Brandt, München.

**Münster:** ETV des Rheinisch-Westfälischen Industriebezirks Essen, Stützpunkt Münster, Herwarthstr. 6–8.

15. 6. 1961, 19.30, Staatl. Ingenieurschule für Bauwesen, Physiksaal, Eingang Lotharingerstraße: „Geräte und Verfahren der Elektroakustik für Sonderaufgaben in der Fernsprechtechnik“, Dipl.-Ing. Georg Dehn, Erlangen.

**Wuppertal:** Technische Akademie Bergisch Land, Wuppertal-Elberfeld, Hubertusallee 18.

26. 6.—27. 6. 1961, 9.00—17.00, Technische Akademie: „Elektrische Anlagen für explosionsgefährdete Betriebsstätten“, Obering. Dipl.-Ing. W. Groezinger, Essen.

**PERSÖNLICHES**

**Chr. Krämer.** — Am 21. Mai beging Direktor i. R. Christian Krämer in voller körperlicher und geistiger Frische seinen 90. Geburtstag. Vor 20 Jahren wurden in der ETZ Bd. 62 (1941) S. 492 seine großen Verdienste um die technische Entwicklung auf vielen Gebieten der Elektrotechnik gewürdigt (Hochspannungssicherung, Umformerkaskade, Kollektorkaskade, Konstantstrommaschine, Rudersteuerung, Schnellerregungsschaltung, Bühnentransfor-



mator, Eisengleichrichter und vieles mehr). Manche Fachgenossen, die an der stürmischen Entwicklung der Starkstromtechnik in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts tätigen Anteil genommen haben, werden an seinem Ehrentage gerne des genialen Ingenieurs gedacht haben, der für so viele kleine und große Probleme des Elektromaschinenbaues immer verblüffend einfache Lösungen fand und der durch seine vorurteilslose einfache Betrachtungsweise aller Dinge des Lebens jede Diskussion mit ihm zu einem Genuß machte. — Wir wünschen Chr. Krämer auch weiterhin Gesundheit, Freude an den Schönheiten der Natur und an seiner geliebten sportlichen Betätigung.

F. Hillebrand

## JUBILÄUM

**E. Muthlein.** — Am 1. April 1961 beging *Erwin Muthlein*, Mitglied des Vorstandes der Calor-Emag Elektrizitäts-Aktiengesellschaft mit den Werken in Ratingen und Frankfurt a. M., sein 25-jähriges Dienstjubiläum.

E. Muthlein begann seine Tätigkeit bei der Calor-Emag als Leiter der Verkaufsabteilung am 1. April 1936. Dank seiner umfangreichen und gründlichen Ausbildung als Konstrukteur und Leiter eines größeren Konstruktionsbüros sowie der Beherrschung technischer Verkaufsangelegenheiten auf den vielfältigen und schwierigen Gebieten der elektrischen Schaltgeräte gelang es ihm bald, den Kundenkreis der Calor-Emag wesentlich zu erweitern und das Lieferprogramm durch belebende Impulse an die Konstruktionen neu zu gestalten. So ist es weitgehend seiner Initiative und seinen Fähigkeiten zu verdanken, daß immer stärker bei der Calor-Emag der Bau von Schaltanlagen entwickelt wurde, die heute in mancher Beziehung als besonders fortschrittlich gelten kann. Im Jahre 1946 wurde E. Muthlein in den Vorstand berufen.

Außerhalb seiner Firma hat E. Muthlein verantwortungsvolle Aufgaben im „Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie“ (ZVEI) und anderen Organisationen inne. Seit 1949 ist er im ZVEI Leiter der Fachabteilung, welche die Firmen für die Herstellung von elektrischen Schaltgeräten und Schaltanlagen betreut. Diese Tätigkeit führte 1953 zu seiner Berufung in den Vorstand und Präsidium des Verbandes. Seit einigen Jahren leitet E. Muthlein auch die Landesstelle Nordrhein-Westfalen des ZVEI.

In Verbindung mit der engen Zusammenarbeit der elektrotechnischen Industrie im Rahmen der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft ist E. Muthlein in den entsprechenden Gremien auf dem Schaltgerätegebiet tätig und darüber hinaus in dem im Jahre 1960 gegründeten Deutschen Komitee für elektrotechnische Zusammenarbeit.

Schließlich ist E. Muthlein Delegierter seines Fachzweiges in der Mitgliederversammlung des ZVEI und einer der Delegierten des ZVEI in der Mitgliederversammlung des Bundesverbandes der Deutschen Industrie.

fi

## BÜCHER

DK 621.791.75

**Die Lichtbogen-Schweißmaschine.** Von Th. Königshofer. 2. erw. Aufl. Mit 63 S., 28 B., 1 Taf., Format 15 cm × 21 cm. Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin 1960. Preis brosch. 6,20 DM.

Der Verfasser hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Anforderungen, die an die verschiedenen Lichtbogen-Schweißstromquellen in statischer und dynamischer Hinsicht zu stellen sind, zu behandeln.

Bei den Schweißumformern werden Gegenreihenschluß-Generatoren und Quersfeldmaschinen verglichen, wobei die nach Patenten des Verfassers gebauten Quersfeldsteuerpolmaschinen besonders hervorgehoben sind.

Schweißtransformatoren mit Wechselstrom-Anschluß und Wechselstrom-Schweißgeräte mit Drehstrom-Anschluß, wie Schweiß-Periodenumformer und Schweißwandler sind vor allem in ihrer Auswirkung auf die Netzverhältnisse erörtert.

Bei Schweißgleichrichtern beschränkt sich der Verfasser auf die Selen-Schweißgleichrichter und ihre verschiedenen Regelungsarten.

Besondere Kapitel sind der Problematik der Leerlaufspannung und des Netzanschlusses von Lichtbogenschweißgeräten allgemein gewidmet.

Zur Beantwortung der Frage „Gleichstrom- oder Wechselstrom-Schweißung?“ dient eine Gegenüberstellung der Verhältnisse beim Schweißen mit Einphasen-Schweißtransformator und mit Gleichstrom-Schweißumformer.

Die neue 2. Auflage des Büchleins ist erweitert durch einen Abschnitt: „Lichtbogenschweißgeräte für die Schutzgasschweißung“. Darin sind die verschiedenen Verfahren, wie das Argonarschweißen, das Sigma-Verfahren, das CO<sub>2</sub>-Schutzgasschweißen und das Schweißen mit Doppelgas (Argon und CO<sub>2</sub>), die dabei zu verwenden-

dende Stromart, die Verwendung zusätzlicher Hochfrequenzgeräte und schließlich die verschiedenen dafür in Betracht kommenden Stromquellen besprochen.

Wie schon die 1. Auflage ist die Veröffentlichung ein nützlicher Beitrag für die Beurteilung der Lichtbogenschweißgeräte. Rz

DK 621.317.39 : 624.131.437(024)

**Elektrische Messungen an räumlich ausgedehnten Leitern.** Von V. Fritsch. Mit 384 S., 236 B., 31 Taf., Format 15 cm × 21,5 cm. Hrsg. F. Moeller. Verlag G. Braun, Karlsruhe 1960. Preis Ganzln. 45,— DM.

Die geoelektrische Meßtechnik für die Bodenuntersuchung hat sich zu einem Wissensgebiet entwickelt, das seinen Niederschlag in zahlreichen Veröffentlichungen des internationalen Schrifttums gefunden hat. Ursprünglich entwickelt zum Erforschen der Bodenstruktur in der Tiefe, um Vorkommen von Erzen, Kohle, Öl usw. zu ermitteln, findet diese Technik heute auch weitgehende Anwendung bei der Planung von Erdungsanlagen für die Blitzschutz-, Funk- und Starkstromtechnik, wo eine möglichst genaue Kenntnis der Eigenschaften des Erdrreiches in der weiteren Umgebung des Gebietes der Erdungsanlage erforderlich ist. Aufgabe der Geoelektrik ist es, durch Messung von der Erdoberfläche aus den spezifischen Erdwiderstand des Bodens bis in die zu erforschende Tiefe zu ermitteln, um aus den Ergebnissen auf dessen Zusammensetzung zu schließen. Das ursprüngliche Verfahren ist die Messung mit Gleichstrom oder auch niederfrequentem Wechselstrom, wofür verschiedene Meßmethoden gebräuchlich sind, deren Wesen beschrieben und Grenzen gezeigt werden. Auch die Auswertung der Meßergebnisse wird behandelt. Für waagrecht und geneigt geschichtete Böden werden in der Praxis mehrere Berechnungsverfahren benutzt, deren Formulierungen angegeben sind. Zum Untersuchen von gut leitenden Schichten, die tief unter schlecht leitenden liegen, dienen Meßverfahren mit galvanischen und induktiven Elektroden. Impulsverfahren lassen aus der Ausbreitung von Impulsströmen und Feldern im Untergrund auf die Leitfähigkeit und Schichtung schließen. Dazu werden Laufzeitverfahren und solche benutzt, die aus der Verformung des ausgesandten Impulses am Empfangsort auf die elektrischen Eigenschaften des Untergrundes und damit auf seine Zusammensetzung hinweisen. Wo die genannten Verfahren nicht anwendbar sind, wenn es sich um die Untersuchung sehr schlecht leitender Böden, z. B. völlig trockener Gebirge handelt, kann die Funkmutung benutzt werden, deren Verfahren angegeben werden. Als erreichbare Tiefen erwartet man einige 100 km.

Das Buch gibt auf dem zur Verfügung stehenden Raum einen weiten Überblick über das zu behandelnde große Gebiet. Es will und kann kein Lehrbuch sein, sondern wendet sich an den auf diesem Gebiet arbeitenden Fachmann, dem es, unterstützt durch einen sehr reichhaltigen Schrifttumsnachweis von rd. 1000 Stellen, das Quellenstudium ermöglicht. Dem Elektrotechniker, den bei der Projektierung von Erdungsanlagen lediglich die Ermittlung der im Raume solcher Anlagen vorhandenen elektrischen Leitfähigkeiten interessiert, ohne daraus auf die Bodenstruktur schließen zu müssen, wie es Aufgabe des Geologen ist, wird die Kenntnis der verschiedenen Meßverfahren dennoch nützlich und interessant sein.

W. Koch

DK 621.382.3(023.2)

**Der Transistor.** Telefunken-Fachbuch. Mit 224 S., zahlr. B., Format 15 cm × 21 cm. Telefunken GmbH, Ulm 1960. Franzis-Verlag, München.

Das Telefunken-Fachbuch ist als Nachschlagewerk eine Fundgrube für alle, die sich nach der Grundschulung in die Transistortechnik einarbeiten wollen. Von Gleichungen fast frei, ist es leicht verständlich und vermittelt durch klaren Text und gute Bilder eine treffliche Übersicht, z. B. im ersten Kapitel über Aufbau und Technologie. Die Zurückstellung der Physik für einen späteren Abschnitt ist didaktisch gut. Im zweiten Kapitel werden die Transistor-Kennlinien denen der Röhren anschaulich gegenübergestellt. Zugrunde gelegt ist die bereits von fast allen Firmen angenommene, vom Besprecher als zweckmäßigste nachgewiesene Zählrichtung: „Ströme positiv in Richtung zum Kristall, Spannungspfeile zum gemeinsamen Leiter für Ein- und Ausgang weisend“ (s. C. Moerder: „Transistortechnik“, Teubner-Verlag, Stuttgart 1960, S. 57). Eindeutiger Vorzeichen halber und auch mit Rücksicht auf die Jungingenieure sollten alle Verfasser und Fabriken einheitlich diese Zählrichtung wählen, selbst wenn wertvolles älteres Schrifttum davon abweicht.

Einzelheiten über die 4 Signalgrößen und weitere Kennwerte bringt, gut angeordnet, Kapitel 3. Etwas knapp ist die Behandlung der Vierpol-Kenngrößen, die aus den Grundlagen wohl als bekannt vorausgesetzt werden. Die Vermeidung gotischer und Verwendung kleiner Kursivbuchstaben bei diesen komplexen Größen fördert die internationale Verständlichkeit und leistet Vorarbeit für die noch nicht durchentwickelte Norm (s. Tafel auf S. 58). Ausführlicher als in Grundlagenwerken möglich, sind die sehr wichtigen Restströme und Wärmewiderstände behandelt. Über das Rauschen wird knapper als erwünscht berichtet; auf die Stabilisierung (Kapitel 4) und Schaltungsgrundlagen (Kapitel 5) wird zum Überblick ausreichend eingegangen. Über den Transistor als Schalter vermißt man Ausführliches. Gerade hier ist der Nachschlagebedarf sehr groß.

Die Halbleiterphysik in den Kapiteln 6 und folgende zeigt eine gute Auswahl aus dem weit verzweigten Gebiet. Vor allem sind



der Leitfähigkeitsmechanismus einschließlich der Energiebänder und die Dotierung sehr verständlich dargestellt; der „Löcherstrom“ wird im Verhältnis zum übrigen Buchniveau zu breit behandelt. Die vielen Einzelheiten über Dotierungsgrade, Schichtdicken, Kapazitäten, Spannungseinfluß sind besonders dankenswert. Im 8. Kapitel wäre statt eines der vielen Gleichrichterbilder ein Bild der 3 Transistorschichten mit den Hauptströmen besser.

An zentraler Stelle steht, seiner Anschaulichkeit entsprechend, das Diffusionsdreieck mit vielen Ausdeutungen. Der 9. Abschnitt „Umgang mit Transistoren“ ist für den Praktiker wichtig. Kapitel 10 mit Bauelementangaben ist eine wertvolle Sammlung erprobter Musterschaltungen fast aller Gebiete. Das Experimentiergerät im Anhang, das weniger für Hoch- und Ingenieurschulen gedacht ist, dürfte manchem den Zugang zu Versuchen erschließen.

Umschlag, Druck und Bildgrößen des Buches sind ausgezeichnet, die abschnittsweise Bildzählung ist sehr übersichtlich und zweckmäßig, das Register erfreulich ausführlich. Das Buch kann als Arbeitsunterlage und zur näheren Orientierung für alle mit Transistoren Beschäftigten bestens empfohlen werden. C. Moerder

DK 621.039.83 : 664.8.039(024)

**Strahlenkonservierung und Kontamination von Lebensmitteln.** Von J. Kuprianoff und K. Lang. Mit 313 S., 35 B., 145 Taf., Format 15 cm × 23 cm. Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt 1960. Preis Ganzln. 64,— DM.

Das Interesse an der Anwendung ionisierender Strahlen für die Lebensmittelkonservierung erwachte, als im Zuge der technischen Entwicklung starke und verhältnismäßig billige Strahlenquellen verfügbar wurden. Bei den in dieser Richtung durchgeführten Untersuchungen zeigte sich allerdings, daß das Problem nicht so einfach liegt, wie ursprünglich angenommen wurde. Durch die Bestrahlung wird zwar die beabsichtigte Wirkung der Entkeimung erzielt, aber gleichzeitig treten öfter sehr störende oder auch gesundheitlich schädliche oder bedenkliche Wirkungen auf. Das ist der Inhalt des ersten Teiles des Buches. Im einzelnen werden dabei behandelt:

Die Strahlenwirkungen allgemein (Strahlenquellen, Dosismessungen, Vergleich verschiedener Strahlenarten, Strahlenwirkung auf Lebensmittelbestandteile, Mikroorganismen und die Verpackungsmaterialien, Grenzen und Möglichkeiten der Strahlenanwendung zum Verbessern der Haltbarkeit von Lebensmitteln); Spezielle Strahlenanwendungen (Fleisch, Fisch, Milch, Eier und mit diesen Nahrungsmitteln hergestellte Erzeugnisse, Obst und Gemüse, Kartoffeln, Getreide und Getreideprodukte, verschiedene Lebensmittel); Verträglichkeit bestrahlter Lebensmittel (Tierexperimentelle Untersuchungen, die Frage nach einer etwaigen kanzerogenen Wirkung bestrahlter Lebensmittel, Ernährungsversuche mit bestrahlten Lebensmitteln bei Menschen, Veränderungen bestrahlter Lebensmittel, Zusammenfassende Beurteilung der Unschädlichkeit und Verträglichkeit bestrahlter Lebensmittel).

Im zweiten Teil werden die für unsere Zeit so wichtigen Probleme der Kontamination von Lebensmitteln behandelt. Diese Fragen sind interessant wegen der wachsenden Anwendung radioaktiver Isotope und der Errichtung von Kernreaktoren, bei deren Betrieb größere Mengen radioaktiver Spaltprodukte anfallen, und vor allem wegen der Gefahr der radioaktiven Verseuchung durch Atombomben. Im einzelnen werden behandelt:

Die natürliche Radioaktivität des Menschen, die Aufnahme natürlich radioaktiver Isotope mit der Nahrung, in Lebensmitteln vorkommende radioaktive Isotope (Allgemeines über radioaktiven Fallout, Strontium 90, Caesium 137, Barium 140, Jod 131, Zink 65, Plutonium, Kohlenstoff 14, Tritium); Organisation der Arbeit in den USA (Produkte und ihre Entnahme, Laboratorium und ihre Einrichtungen, Meßverfahren, Beseitigung radioaktiver Laboratoriumsabfälle).

Zusammenfassende Darstellungen dieser Probleme fehlen bislang im deutschen Schrifttum. Die Schrift gibt einen ausgezeichneten Überblick über beide Gebiete. Sie ist in gleicher Weise interessant für Biologen, Hygieniker und Techniker. W. Hanle

DK 615.84(024)

**Einführung in die Elektromedizin.** Von O. Müller und E. Schliephake. Mit 355 S., zahlr. B. und Taf., Format 16 cm × 23,5 cm. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1960. Preis Ganzln. 38,— DM.

Das Buch ist in erster Linie für Ärzte bestimmt, jedoch ist es auch für an der Elektromedizin interessierte Ingenieure zur Einführung sehr geeignet. Bestrebungen, durch engere Zusammenarbeit der Medizin mit der Elektrotechnik dem Fortschritt der Heilkunde

zu dienen, sind in den letzten Jahren in verschiedenen Ländern aufgekommen. Eine für Ärzte und Ingenieure geeignete Einführung in dieses vielseitige Gebiet entspricht also einem aktuellen Bedürfnis.

Das Buch befaßt sich nicht mit der Röntgentechnik, für die es ein umfangreiches Spezialschrifttum gibt. Auch auf anderen Sondergebieten der Elektromedizin, wie z.B. der Elektrokardiographie oder der Kurzwellentherapie, fehlt es nicht an Lehrbüchern. Für ein dem heutigen Stand entsprechendes einführendes Lehrbuch, das sich mit allen wichtigen Zweigen der Elektromedizin außer der Röntgenmedizin befaßt, bestand jedoch ein Bedürfnis. Die beiden Verfasser sind zum Lösen dieser Aufgabe besonders berufen. O. Müller, früher Professor an der Staatlichen Hochschule in Köthen und Dozent an der Universität Halle, hat sich durch einschlägige Veröffentlichungen einen Namen gemacht. E. Schliephake, Chefarzt der Balserischen Stiftung in Gießen und Professor an der Universität Würzburg, hat zusammen mit dem Physiker Esau vor 30 Jahren die Kurzwellentherapie geschaffen.

Entsprechend dem Umfang und der Vielseitigkeit der heute sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie angewendeten elektromedizinischen Verfahren und technischen Mittel, von denen alle wichtigeren berücksichtigt worden sind, mußten sich die Verfasser natürlich manche Beschränkung auferlegen, die jedoch den Lesern zugute kommen, die zunächst nur einen Überblick über das ganze Gebiet suchen. Der Inhalt gliedert sich in einen physikalisch-technischen Teil von O. Müller und einen medizinischen Teil von E. Schliephake. Ein Stichwörterverzeichnis erleichtert die Benutzung des Buches, auf Schrifttumsangaben ist, wohl wegen der notwendigen Umfangbeschränkung, verzichtet worden. Die Ausstattung des Buches ist erstklassig.

Der interessierte Ingenieur sei noch besonders auf die als Anhang zum physikalisch-technischen Teil gebrachten Kapitel über den elektrischen Widerstand des menschlichen Körpers und die Gefahren des elektrischen Stromes hingewiesen. H. Graf

DK 621.39(038)=30=60

**Langenscheidts Fachwörterbuch Fernmeldewesen Deutsch—Spanisch.**

Von A. E. Baumgart. Mit 769 S., Format 10 cm × 15,5 cm. Langenscheidt KG Verlagsbuchhandlung, Berlin-Schöneberg 1960. Preis Kunststoff 39,— DM.

Mit dem Sachtitel „Fernmeldewesen“ meint dieses Fachwörterbuch Technik, Betrieb und Organisation der drahtgebundenen und drahtlosen Telegraphie und Telephonie sowie des Ton- und Fernseh-Rundfunks. Der Verfasser konnte dabei zurückgreifen auf die spanischen Veröffentlichungen des Internationalen Beratenden Ausschusses (CCI) der Internationalen Fernmelde-Union (UIT) und außerdem auf das einschlägige Schrifttum nationaler und internationaler Normenausschüsse.

Wenn der Verfasser 769 Kleinoktav-Seiten mit dem Wortschatz eines scharf umrissenen Fachgebietes füllen kann, so muß man ihm bescheinigen, daß er den Bedürfnissen der Übersetzer und Ingenieure entgegenkommt. Das Wörterbuch bringt Fachausdrücke nicht nur in Form von Stammwörtern und zusammengesetzten Wörtern, z.B. „Echo“, „Echounderückung“, sondern es führt auch Wortgruppen auf, z.B. „Verstärker mit Dynamikentzerrung“. Daher nimmt das Stichwort „Leitung“ sieben Seiten ein. Hervorzuheben ist nachdrücklich, daß für den Verfasser Fachsprache nicht allein aus Fachausdrücken besteht: sein Wörterbuch bietet auch sehr viele Fachwendungen (fachsprachliche Wendungen), z.B. „das Relais zieht an“.

Der Verfasser gibt zu, daß er manche der Fachausdrücke erst prägen mußte. Solche persönlichen Vorschläge sollten bei einer Neuauflage besonders gekennzeichnet werden.

Das vorliegende Wörterbuch ist alphabetisch angeordnet, was sich bei zweisprachigen Wörterbüchern als praktisch erwiesen hat. Schriftbild und Ausstattung entsprechen Langenscheidtscher Überlieferung.

Schließlich ist zu wünschen, daß bald der spanisch-deutsche Teil herauskommt und daß dieses Wörterbuch auch für andere Sprachen bearbeitet wird. A. Warner

Folgende Aufsätze erschienen in der ETZ-A vom 5. Juni 1961

Heft 12

J. Tittel: Blindleistungsmaschinen zur Symmetrierung unsymmetrischer Netzbelastungen.

K.-H. Waechter: Dickenmessung mit Bremsstrahlung.

R. Bartenstein: 10 Jahre 400-kV-Forschungsgemeinschaft.

W. Reiche: Über die Auslegung von Wechselstrom-Hochspannungsprüfanlagen.

H. Dittler: Bericht über die Fachtagung „Elektrische Kontakte“ in London.

Abschluß des Heftes 31. Mai 1961

Schluß des Textteiles

Schriftleitung: Frankfurt a. M. S 10, Stresemannallee 21; Fernruf 60 341, Fernschreiber (Telex) 04-12 871.

Hauptschriftleiter: Dr.-Ing. P. Jacottet (für den redaktionellen Teil verantwortlich).

Schriftleiter: Dipl.-Ing. W. H. Hansen.

Zuschriften für die Schriftleitung nicht an eine persönliche Anschrift, sondern nur an: Schriftleitung der ETZ, Frankfurt a. M. S 10, Stresemannallee 21; Fernruf 60 341.

Verlag und Anzeigenverwaltung: VDE-Verlag GmbH, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, Fernruf 34 01 41, Fernschreiber (Telex) 01-84 083.

Anzeigenleitung: Kurt Totzauer.

Bezugspreis (halbjährlich zuzügl. Zustellgebühr) 14,— DM,

für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 10,— DM;

Ausgabe A und B zusammen 34,— DM,

für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 24,— DM.

Einzelpreis dieses Heftes 1,50 DM.

Druck: Deutsche Zentraldruckerei AG, Berlin SW 61, Dessauer Straße 6/7.